

Институт вычислительных технологий СО РАН  
Институт вычислительного моделирования СО РАН

**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ  
И ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ**

**Красноярск, 28-30 октября 2015 г.**

**Программа  
Тезисы докладов  
Алфавитный указатель участников**

УДК 004, 519.6  
ББК 22.19, 32.81  
М34

Материалы XVI Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию. г. Красноярск, Россия. 28-30 октября 2015 г. — Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2015. — 112 стр.

Целью конференции является обсуждение актуальных результатов исследований молодых научных сотрудников, аспирантов и студентов старших курсов в области вычислительной и прикладной математики и информатики. Участие в конференции дает возможность молодым ученым получить представление о результатах исследований в области современного математического моделирования, вычислительных и информационных технологий, установить научные контакты, а также познакомиться с широким кругом задач, представленных в докладах участников.

В рамках работы конференции представлены тематические направления: математическое моделирование; высокопроизводительные вычисления; информационные системы; управление, обработка и хранение информации; автоматизация и управление технологическими процессами.

Конференция проводится при поддержке Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности и Совета научной молодежи ИВТ СО РАН.

**Организаторы конференции:**

- Институт вычислительных технологий СО РАН
- Институт вычислительного моделирования СО РАН
- Институт динамики систем и теории управления СО РАН
- Сибирский федеральный университет
- Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
- Новосибирский государственный технический университет
- Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Ответственные за выпуск: Есипов Д.В., Лиханова Ю.В., Васева И.А.

## **Программный комитет:**

- академик Ю. И. Шокин (Новосибирск) — сопредседатель
- чл.-корр. РАН В. В. Шайдуров (Красноярск) — сопредседатель
- академик И. В. Бычков (Иркутск)
- академик Е. А. Ваганов (Красноярск)
- профессор В. В. Москвичев (Красноярск)
- профессор Л. Ф. Ноженкова (Красноярск)
- профессор В. П. Потапов (Кемерово)
- профессор В. М. Садовский (Красноярск)
- профессор М. В. Ульянов (Москва)
- профессор М. П. Федорук (Новосибирск)
- д.ф.-м.н. С. К. Голушко (Новосибирск)
- д.т.н. А. Н. Фионов (Новосибирск)
- к.ф.-м.н. И. Ю. Турчановский (Томск)
- к.ф.-м.н. Д. В. Есипов (Новосибирск) — ученый секретарь

## **Организационный комитет:**

- академик Ю. И. Шокин (Новосибирск) — председатель
- к.ф.-м.н. Д. В. Есипов (Новосибирск) — секретарь
- к.ф.-м.н. И. В. Степанова (Красноярск)
- к.ф.-м.н. А. Е. Беднякова (Новосибирск)
- к.ф.-м.н. М. П. Варыгина (Красноярск)
- к.ф.-м.н. И. А. Васева (Новосибирск)
- к.ф.-м.н. А. В. Вяткин (Красноярск)
- к.ф.-м.н. Е. В. Дементьева (Красноярск)
- к.т.н. А. А. Евсюков (Красноярск)
- к.ф.-м.н. Ю. В. Лиханова (Новосибирск)
- н.с. Ю. Н. Синявский (Новосибирск)
- асп. В. А. Кихтенко (Новосибирск)
- асп. П. В. Мельников (Новосибирск)
- асп. С. А. Рылов (Новосибирск)

# Научные направления

## 1. Математическое моделирование

Направление посвящено разработке и исследованию математических моделей и численных методов в задачах механики сплошной среды, физики, энергетики, медицины, экологии и природопользования. Особое внимание уделяется высокоточным и эффективным методам численного моделирования.

## 2. Методы оптимизации

Направление включает как теоретические, так и практические вопросы оптимизации, системного анализа, управления и принятия решений. Обсуждаются постановки задач оптимизации, численные методы их решения, а также вопросы их применения при моделировании и проектировании.

## 3. Выскопроизводительные вычисления

Направление посвящено практическим вопросам создания высокоэффективных алгоритмов, в том числе с использованием современных вычислительных средств. Особое внимание уделяется разработке параллельных алгоритмов решения задач на многопроцессорных компьютерах и с применением ускорителей.

## 4. Информационные системы

Направление посвящено методам проектирования и практической реализации информационных систем, разработки их новых типов. Обсуждаются вопросы, связанные с геоинформационными системами, электронными библиотеками, распределенными информационными системами. Также затрагиваются вопросы обеспечения их безопасности.

## 5. Управление, обработка и хранение информации

Направление объединяет способы организации хранилищ информации и технологии обработки массивов данных, оптимизации структур данных, защиты данных, централизованного и распределенного их хранения. Особое внимание уделяется развитию методов работы с очень большими объемами данных (Big Data).

## 6. Автоматизация и управление технологическими процессами

Направление включает вопросы, связанные с разработкой и усовершенствованием технических средств и методов измерения технологических параметров, программно-аппаратных систем и средств мониторинга, поддержки принятия решений, а также методов и математических основ моделирования сложных управляющих систем.

## Содержание

Схема проведения конференции	5
Программа конференции	7
Тезисы докладов	20
1. Вычислительные технологии	20
2. Информационные технологии	60
Алфавитный указатель участников	99

## Схема проведения конференции

<b>27 октября 2015 г.</b>	
<b>16:00 – 18:00</b> Регистрация участников конференции (ИВМ СО РАН)	
<b>28 октября 2015 г.</b>	
<b>08:30 – 09:00</b> Регистрация участников конференции (ИВМ СО РАН)	
<b>09:00 – 10:00</b> <i>Открытие конференции. Пленарные доклады:</i> д.т.н. Фионов А.Н. (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск) д.ф.-м.н. Головин С.В. (ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск) (ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)	
<b>10:00 – 10:30</b> Перерыв (кофе-брейк)	
<b>10:30 – 12:30</b> Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)	<b>10:30 – 12:30</b> Заседание секции «Информационные технологии» (ИВМ СО РАН, конф.-зал №505)
<b>12:30 – 14:00</b> Обеденный перерыв	
<b>14:00 – 16:00</b> Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)	<b>14:00 – 16:00</b> Заседание секции «Информационные технологии» (ИВМ СО РАН, конф.-зал №505)
<b>16:00 – 16:30</b> Перерыв (кофе-брейк)	
<b>16:30 – 18:30</b> Заседание секции «Вычислительные технологии» (ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)	<b>16:30 – 18:30</b> Заседание секции «Информационные технологии» (ИВМ СО РАН, конф.-зал №505)
<b>19:00</b> Неформальная дискуссионная площадка «Актуальные проблемы моделирования волновой динамики»	

**29 октября 2015 г.**

**08:30 – 10:00**

*Пленарные доклады:*

д.ф.-м.н. Рыжков И.И. (ИВМ СО РАН, г. Новосибирск)

к.ф.-м.н. Барановский Н.В. (ТПУ, г. Томск)

к.ф.-м.н. Чирков Д.В. (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск)

(ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)

**10:00 – 10:30**

Перерыв (кофе-брейк)

**10:30 – 12:30**

Заседание секции

«Вычислительные технологии I»

(ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)

**10:30 – 12:30**

Заседание секции

«Вычислительные технологии II»

(ИВМ СО РАН, уч. кл. №231)

**10:30 – 12:30**

Заседание секции

«Информационные технологии»

(ИВМ СО РАН, конф.-зал №505)

**12:30 – 13:15**

Обеденный перерыв

**13:15**

Экскурсия на Красноярскую ГЭС

**30 октября 2015 г.**

**08:30 – 10:00**

*Пленарные доклады:*

д.т.н. Ульянов М.В. (ИПУ РАН, МГУ, г. Москва)

д.ф.-м.н. Хахимзянов Г.С. (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск)

д.т.н. Симонов К.В. (ИВМ СО РАН, г. Красноярск)

(ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)

**10:00 – 10:30**

Перерыв (кофе-брейк)

**10:30 – 12:30**

Заседание секции

«Вычислительные технологии I»

(ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)

**10:30 – 12:30**

Заседание секции

«Вычислительные технологии II»

(ИВМ СО РАН, уч. кл. №231)

**10:30 – 12:30**

Заседание секции

«Информационные технологии»

(ИВМ СО РАН, конф.-зал №505)

**12:30 – 14:00**

Обеденный перерыв

**14:00 – 16:30**

Заседание секции

«Вычислительные технологии I»

(ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)

**14:00 – 16:30**

Заседание секции

«Информационные технологии»

(ИВМ СО РАН, конф.-зал №505)

**16:30 – 17:00**

Перерыв (кофе-брейк)

**17:00**

*Подведение итогов и закрытие конференции:*

чл.-корр. РАН Шайдуров В.В.

(ИВМ СО РАН, конф.-зал №434)

**19:00**

Экскурсия по г. Красноярск

**31 октября 2015 г.**

**10:00 – 16:00**

Экскурсия на Красноярские столбы

## Программа конференции

28.10.2015

09:00–10:00 **Открытие конференции. Пленарные доклады**

09:00 **Фионов Андрей Николаевич\***

*Вычислительная способность как средство оценивания производительности компьютеров*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

09:30 **Головин Сергей Валерьевич\*, Хе А.К.\*, Гадьлышина К.А.\*\***

*Гидравлическая модель артериовенозной мальформации головного мозга*

\*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск), Россия

\*\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

10:00–10:30 **Перерыв (кофе-брейк)**

10:30-18:30 **Вычислительные технологии**

*Председатель: д.ф.-м.н. Головин Сергей Валерьевич*

10:30 **Вяткин Александр Владимирович\***

*Об одном алгоритме из семейства полулагранжевых методов*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

10:45 **Дементьева Екатерина Васильевна\*, Каропова Е.Д.\***

*Численные решения уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости полу-лагранжевым методом*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

11:00 **Бояркина Кира Евгеньевна\***

*Местное гидравлическое сопротивление для течения неньютоновской жидкости в трубе со скачком сечения*

\*Томский государственный университет (Томск), Россия

11:15 **Хегай Ефим Игоревич\***

*Численное решение задачи о течении неньютоновской жидкости в канале с внезапным расширением*

\*Томский государственный университет (Томск), Россия

11:30 **Жигарев Владимир Алексеевич\*, Минаков А.В.\***

*Численное исследование способов интенсификации гидродинамических процессов в химических реакторах*

\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

11:45 **Дьякова Ольга Алексеевна\*, Борзенко Е.И.\***

*Исследование явления проскальзывания на твердой стенке в задаче о течении вязкой жидкости в T-образном канале*

\*Томский государственный университет (Томск), Россия

12:00 **Ефимова Марина Викторовна\***

*О решении двумерной задачи конвекции с переменным градиентом температуры*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**12:15 Щербаков Павел Константинович\***

*Численное моделирование течений в гидротурбине с использованием модели «вода-пар-воздух»*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**12:30 Григорьев Александр Евгеньевич\***

*Мультипольная модификация метода граничных элементов для моделирования течений Стокса*

\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

**12:30–14:00 Обеденный перерыв**

**14:00 Семенко Роман Евгеньевич, Блохин А.М.\***

*О течениях несжимаемой полимерной жидкости между соосными цилиндрами*

\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

**14:15 Нестеренко Сергей Владимирович\***

*Совместное двумерное стационарное термокапиллярное течение двух жидкостей со свободной границей*

\*Институт математики Сибирского федерального университета (Красноярск), Россия

**14:30 Белоусов Кирилл Ильич\*, Кухтевич И.В.\*\*, Букатин А.С.\*\*\*, Евстрапов А.А.\*\*\*\***

*Численное моделирование перемешивания веществ внутри капли в различных инжекторах микрофлюидного чипа*

\*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург), Россия

\*\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

\*\*\*Санкт-Петербургский академический университет РАН (Санкт-Петербург), Россия

\*\*\*\*Институт аналитического приборостроения РАН (Санкт-Петербург), Россия

**14:45 Филина Мария Петровна\***

*Циркуляционное течение нелинейновязкой жидкости в канале одношнекового экструдера*

\*Томский государственный университет (Томск), Россия

**15:00 Зимин Антон Игоревич\***

*Численное моделирование распространения волн на поверхности вязкой несжимаемой жидкости*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**15:15 Гусев Олег Игоревич\***

*Численное исследование влияния дисперсии волн и вращения Земли на распространение цунами*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**15:30 Ковтуненко Павел Викторович\***

*Моделирование волновых возмущений в тонком слое вязкой жидкости*

\*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск), Россия

**15:45 Курако Михаил Александрович\*, Быков А.А.\*\*, Кудря Н.О.\*, Винников Е.В.\*, Шеломенцев А.А.\*, Кругляков А.\***

*Моделирование и анализ данных наблюдений Чилийских цунами (2010-2015)*

\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

\*\*Институт космических и информационных технологий Сибирского федерального университета (Красноярск), Россия

**16:00–16:30 Перерыв (кофе-брейк)**

**16:30 Михайлов Сергей Олегович\***

*Численное моделирование задачи трехмерного плескания методом конечных элементов с частицами.*

\*Кемеровский государственный университет (Кемерово), Россия

**16:45 Кудря Надежда Олеговна\*, Курако М.А.\***

*Волны-убийцы: обработка данных наблюдений и оценка опасности*

\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

**17:00 Казаков Илья Вадимович\*, Мацулев А.Н.\***

*Методики расчета прилива в земной коре*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**17:15 Магденко Евгений\***

*Возникновение конвекции в однослойной жидкости в конечном цилиндре*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**17:30 Гончарова О.Н.\*, Люлин Ю.В.\*\*, Шефер Илья Александрович\*\*\***

*О двухслойных течениях с испарением в микроканалах*

\*Алтайский государственный университет (Барнаул), Россия

\*\*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск), Россия

\*\*\*Институт математики и фундаментальной информатики Сибирского федерального университета (Красноярск), Россия

**17:45 Рыжков Илья Игоревич\*, Минаков А.В.\*\*, Лебедев Д.В.\*, Хартов С.В.\*, Симунин М.М.\*, Шиверский А.В.\***

*Моделирование транспорта ионов вблизи наноструктурированных поверхностей и в нанопорах*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

\*\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

**18:00 Голдин Андрей Юрьевич\*, Блохин А.М.\*\***

*О построении областей двухфазных состояний для реального вещества в задаче об обтекании клина*

\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

\*\*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

**18:15 Козлова Софья Владимировна\***

*О разделении многокомпонентных смесей под действием термодиффузии в цилиндрической колонне.*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**10:30–18:30 Информационные технологии**

*Председатель: д.т.н. Фионов Андрей Николаевич*

**10:30 Коршунов Сергей Андреевич\*, Дородных Н.О.\***

*Визуализация пространственно-временных сцен на основе их императивного описания и онтологий*

\*Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

**10:45 Денисова Анна Сергеевна\***

*Визуализация категориального ядра «ресурс — свойство — действие — отношение» для моделирования системы визуального управления*

\*Балтийский федеральный университет имени И. Канта (Калининград), Россия

**11:00 Кривдюк Наталья Михайловна\***

*Применение когнитивных средств основанных на 2-симплексе в области разработки программных продуктов.*

\*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск), Россия

**11:15 Кононов Дмитрий Дмитриевич\***

*Средства автоматизированного мониторинга контента веб-пространства научно-образовательных ресурсов Красноярского края*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**11:30 Проскуряков Дмитрий Павлович\***

*Использование контекстной информации и средств рассуждения по прецедентам в стратегии управления производствами*

\*Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск), Россия

**11:45 Дородных Никита Олегович\*, Юрин А.Ю., Коршунов С.А.**

*Концепция программной системы создания веб-сервисов синтеза баз знаний на основе концептуальных моделей*

\*Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

**12:00 Угриновский Назарий Васильевич\***

*Веб-приложение «Бизнес-симулятор»*

\*Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия

**12:15 Старовойтова Владислава Андреевна\***

*Расширение функциональных возможностей мультимедийного сетевого электронного учебника по дисциплине «Проектный менеджмент»*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**12:30–14:00 Обеденный перерыв**

**14:00 Пестунов Андрей Игоревич\*, Перов А.А.\***

*Анализ статистических свойств легковесных блочных шифров с помощью специализированной программной библиотеки*

\*Новосибирский государственный университет экономики и управления (Новосибирск), Россия

**14:15 Шумилин Олег Петрович\*, Вичугова А.А.\***

*Основы информационной безопасности в веб-программировании. Современные методы и средства защиты от SQL-инъекций*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**14:30 Кулясов Никита\***

*Влияние наличия информации в системе DNS на активность агентов угроз киберпространства.*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**14:45 Саламатова Татьяна Андреевна\***

*О биоинспирированном подходе к решению задачи обнаружения вторжений в информационных системах*

\*Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева (Красноярск), Россия

**15:00 Костромин Роман Олегович\***

*Организация управления распределенными вычислениями в интегрированной кластерной системе*

\*Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

**15:15 Марьин Сергей Владимирович\***

*Адаптация алгоритмов неочлачного планирования для облачных сред*

\*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург), Россия

**15:30 Тюрюмин Вадим Олегович\***

*Интеграция событийного моделирования и байесовских сетей доверия в исследованиях проблем энергетической безопасности*

\*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (Иркутск), Россия

**15:45 Горохова Екатерина Сергеевна\*, Кочегурова Е.А.\***

*Использование муравьиного алгоритма для формирования расписания пассажироперевозок г. Томска*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**16:00 Березин Антон Александрович\*, Вакула И.А.\***

*Исследование задачи построения сбалансированного графика прокатки*

\*Институт математики и механики УрО РАН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург), Россия

**16:00–16:30 Перерыв (кофе-брейк)**

**16:30 Чемидов Игорь Владимирович\*, Казанцев М.А., Капулин Д.В.**

*Интеграция систем складского учета и комплектации с системой планирования и диспетчеризации производства*

\*Акционерное общество «НПП «Радиосвязь» (Дивногорск), Россия

**16:45 Бакиева Айгерим Муратовна\***

*Подходы к созданию моделей определения тем текстов на тюркских языках*

\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

**17:00 Еримбетова Айгерим Сембековна\*, Ефимова Л.В.\*\***

*Анализ текстов на естественном языке с помощью синтаксического анализатора Link Grammar Parser и семантической компоненты системы Dialing*

\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

\*\*Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН (Новосибирск), Россия

**17:15 Федотов А.М., Самбетбаева Мадина Аралбаевна\***

*Алгоритм морфологического анализатора для казахского языка*

\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

**17:30 Егоров Юрий Алексеевич\***

*Применение модели SVD для прогнозирования музыкальных предпочтений пользователя*

\*Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия

**17:45 Кондратьев Дмитрий Александрович\***

*Семантические метки в проекте C-light*

\*Институт систем информатики имени А.П. Ершова СО РАН (Новосибирск), Россия

**18:00 Сеидова Айсель Султан кызы\*, Румянцева Е.А.\***

*Информационная система сбора и подготовки документов для проведения итоговой государственной аттестации выпускников*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**18:15 Карасева Т.С.\*, Мамонтов Данила Юрьевич\***

*Сравнение эффективности методов интеллектуального анализа данных при решении задач банковской сферы.*

\*Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева (Красноярск), Россия

**18:30 Бодякин Евгений Владимирович\***

*Определение резонансных характеристик грунтового разреза в задачах сейсмического микрорайонирования*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**29.10.2015**

**08:30–10:00 Пленарные доклады**

**08:30 Рыжков Илья Игоревич\***

*Математическое моделирование разделения многокомпонентных смесей посредством термодиффузии*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**09:00 Барановский Николай Викторович\***

*Математическое моделирование воздействия локального нагрева при лесных и техногенных пожарах на кожные покровы человека*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**09:30 Чирков Денис Владимирович\***

*Численное моделирование течений жидкости и оптимизация проточного тракта гидравлических турбин*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**10:00–10:30 Перерыв (кофе-брейк)**

**10:30–12.30 Вычислительные технологии I**

*Председатель: д.ф.-м.н. Рыжков Илья Игоревич.*

**10:30 Степанова Ирина Владимировна\***

*Структура катящихся волн в двухслойном течении Хеле-Шоу*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**10:45 Абрамов Тимофей Владимирович\***

*Использование теоремы о свертке в задаче моделирования неустойчивости Релея-Тейлора*

\*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

**11:00 Финкельштейн Евгения Александровна\***

*Вычислительные технологии аппроксимации множеств достижимости для гладких и разрывных систем*

\*Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

**11:15 Полякова Анна Петровна\*, Светов И.Е.\*, Мальцева С.В.\***

*О восстановлении двумерных симметричных  $m$ -тензорных полей методом приближенного обращения*

\*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

**11:30 Деревцов Е.Ю.\*, Мальцева С.В.\*, Светов Иван Евгеньевич\*, Султанов М.А.\*\***

*О задаче идентификации множества точек разрыва функции по известному преобразованию Радона*

\*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия

\*\*Международный казахско-турецкий университет им. Х.А.Ясави (Туркестан), Казахстан

**11:45 Бекежанова Виктория Бахытовна\*, Гончарова О.Н.\*\***

*О конечно-амплитудных возмущениях двухслойных возмущений с испарением*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

\*\*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск), Россия

**12:00 Бекежанова Виктория Бахытовна\*, Шефер И.А.\*\***

*Устойчивость микроконвективных течений расплава диоксида кремния*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

\*\*Институт математики и фундаментальной информатики Сибирского федерального университета (Красноярск), Россия

**10:30–12:30 Вычислительные технологии II**

*Председатель: к.ф.-м.н. Есипов Денис Викторович*

**10:30 Рыбков Михаил Викторович\***, Новиков Е.А.\*\*

*Алгоритм интегрирования с адаптивными областями устойчивости*

\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

\*\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**10:45 Новиков Антон Евгеньевич\***

*Явно-неявный алгоритм с применением схем четвертого порядка*

\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

**11:00 Ефремов Александр Александрович\***, Вяткин А.В.\*, Каропова Е.Д.\*

*Сравнительный анализ и параллельные реализации двух модифицированных полу-лагранжевых методов решения уравнения переноса с использованием технологий NVIDIA CUDA и OPENMP*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**11:15 Полешкин Сергей Олегович\***

*Оптимизация алгоритмов численного решения уравнения Больцмана на графических ускорителях*

\*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск), Россия

**11:30 Смолехо Ирина Владимировна\***

*Вычислительный алгоритм для реализации математической модели жидкого кристалла с помощью технологии CUDA*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**11:45 Денисов Иван Андреевич\***

*Метод дополнительных частиц в задачах многоуровневого моделирования*

\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

**12:00 Марков Павел Владимирович\***

*Использование непрерывных групп симметрий для ускорения численных расчетов разностных схем*

\*Тюменский государственный университет (Тюмень), Россия

**12:15 Нгуен Лиен Гуй\***

*О задаче оптимального размещения логистических центров в неравномерно заселенной области*

\*Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск), Россия

**10:30–12:45 Информационные технологии**

*Председатель: д.т.н. Ульянов Михаил Васильевич*

**10:30 Коробко Анна Владимировна\***

*Построение аналитической объектной модели нормализованной реляционной базы данных*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**10:45 Гальперов Василий\***

*Применение Joiner-сетей при разработке многоагентных систем оценивания состояний ЭЭС*

\*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (Иркутск), Россия

**11:00 Белорусов Артем Игоревич\***

*Подход к организации межсистемного информационного взаимодействия между гетерогенными информационными системами*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**11:15 Беликова Марина Юрьевна\***, Кречетова С.Ю.\*, Перелыгин А.А.\*\*

*Применение методов кластерного анализа для обработки данных сети WWLLN*

\*Горно-Алтайский государственный университет (Горно-Алтайск), Россия

\*\*Алтайский государственный университет (Барнаул), Россия

**11:30 Голубева Юлия Андреевна\***, Лигай С.\*

*Стенд для адаптации стандарта WITSML в отечественной технологии мониторинга бурения*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**11:45 Ващенко Павел Владимирович\***, Лабусов В.А.\*

*Алгоритм обработки атомно-абсорбционных спектров с непрерывным источником излучения*

\*Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

**12:00 Дядькин Юрий Алексеевич\***

*Разработка инструментальных средств автоматизации построения и применения имитационных моделей РВС на языке Java*

\*Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

**12:15 Горский Сергей Алексеевич\***

*Разработка масштабируемых приложений в ИК Orlando*

\*Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

**30.10.2015**

**08:30–10.00 Пленарные доклады**

**08:30 Ульянов Михаил Васильевич\***

*Прогнозирование сложности индивидуальных задач коммивояжера*

\*Институт проблем управления РАН, Московский государственный университет (Москва), Россия

**09:00 Хакимзянов Гаяз Салимович\***

*О некоторых проблемах численного решения задач волновой гидродинамики в рамках моделей мелкой воды*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**09:30 Симонов Константин Васильевич\***

*Шарлет-преобразование данных наблюдений*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**10:00–10.30 Перерыв (кофе-брейк)**

**10:30–16.30 Вычислительные технологии I**

*Председатель: к.ф.-м.н. Чирков Денис Владимирович*

**10:30 Чеховской Игорь Сергеевич\***, Рубенчик А.М.\*\*\*, Федорук М.П.\*, Турицын С.К.\*\*\*, Штырина О.В.\*

*Нелинейное сжатие и сложение оптических импульсов в многоядерных волноводах*

\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

\*\*Ливерморская национальная лаборатория (Ливермор), США

\*\*\*Институт фотонных технологий Астона (Бирмингем), Великобритания

**10:45 Сидельников Олег Сергеевич\***, Сиглетос С.\*\*\*, Турицын С.К.\*\*\*, Федорук М.П.\*\*\*\*, Феррейра Ф.\*\*

*Численное моделирование многомодовых оптоволоконных линий связи*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

\*\*Астонский университет (Бирмингем), Великобритания

\*\*\*Институт фотонных технологий Астона (Бирмингем), Великобритания

\*\*\*\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

**11:00 Кудрявцев Илья Владимирович\***, Сильченко П.Н.\*, Михнёв М.М.\*\*

*Аналитическое решение системы дифференциальных уравнений для элемента волноводного тракта при его изгибе*

\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

\*\*ОАО «Информационные спутниковые системы» им. М.Ф. Решетнева» (Железногорск), Россия

**11:15 Юшко Олеся Викторовна\***

*Моделирование шума усилителей в нелинейном режиме распространения оптического сигнала в волоконных линиях связи*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**11:30 Федотенко Тимофей Михайлович\***, Беднякова А.Е.\*\*\*, Федорук М.П.\*\*

*Моделирование переноса шумов в волоконных линиях связи с распределенным рамановским усилением*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

\*\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

**11:45 Горбачев Ярослав Вадимович\***

*Симуляция блоховской динамики заряженной частицы в одномерной оптической решетке*

\*Сибирский федеральный университет, Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН (Красноярск), Россия

**12:00 Ершов Александр Евгеньевич\***, Герасимов В.С.\*\*, Рассказов И.Л.\*\*

*Изменение трансмиссионных свойств оптического плазмонного нановолновода в результате нагрева частиц*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

\*\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

**12:15 Исаев Иван Леонидович\***, Гаврилук А.П.\*

*Ультрахолодная плазма в однородном магнитном поле*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**12:30 Лиханова Юлия Викторовна\***

*Результаты численного исследования эволюции конденсата Бозе—Эйнштейна на основе трехмерного уравнения Гросса—Питаевского*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**12:30–14:00 Обеденный перерыв**

**14:00 Горохов Александр Андреевич\***

*Математическое моделирование процесса распространения возмущений в тектоническом разломе*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**14:15 Агбаш Игорь Андреевич\***, Соболев А.Ю.\*

*Нейросетевые процедуры обработки каротажных данных ВИКИЗ и БКЗ*

\*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Россия

**14:30 Куранakov Дмитрий Сергеевич\***, Черный С.Г.\*, Лапин В.Н.\*, Есипов Д.В.\*

*Трехмерная модель распространения трещин*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**14:45 Алипова Диляра\***

*Модель миграции газа вдоль цементной пробки в обсаженной цементированной скважине*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**15:00 Шестаков Валерий Владимирович\***, Степанов Д.Ю.\*

*Геостатистическое моделирование свойств геологических сред по данным наземной и скважинной сейсморазведки*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**15:15 Рикун Юлия Александровна\***

*Моделирование макроскопической прочности гетерогенного материала*

\*Томский государственный университет (Томск), Россия

**15:30 Батуев Станислав Павлович\***

*Математическое моделирование разрушения железобетонных конструкций при импульсных нагрузках*

\*Томский государственный архитектурно-строительный университет (Томск), Россия

**15:45 Микушина Валентина Алексеевна\***

*Математическое моделирование биосовместимой керамики*

\*Томский государственный университет (Томск), Россия

**16:00 Лызов Евгений Романович\***

*Эффективность использования криволинейных элементов в задачах магнитостатики*

\*Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск), Россия

**16:15 Есипов Денис Викторович\***

*Обзор методов решения краевой задачи для уравнения Лапласа*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

**16:30 Стрельников Роман Вячеславович\***, Ларичкин А.Ю.\*

*Деформирование гофрированной оболочки*

\*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск), Россия

**10:30–12:30 Вычислительные технологии II**

*Председатель: к.ф.-м.н. Вяткин Александр Владимирович*

**10:30 Коротченко Мария Андреевна\***, Бурмистров А.В.\*\*

*Алгоритмы статистического моделирования для решения кинетического уравнения коагуляции с линейными коэффициентами*

\*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Новосибирск), Россия

\*\*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

**10:45 Смирнов Дмитрий Дмитриевич\***

*Моделирование распределения решения линейного осциллятора с мультипликативным шумом*

\*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

**11:00 Ченцов Евгений Петрович\***

*Моделирование колебательных процессов в средах с блочной микроструктурой*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**11:15 Андреева Ксения Николаевна\***, Барановский Н.В.\*

*Математические модели для разработки нового поколения систем геомониторинга лесных массивов*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**11:30 Вшивкова Ольга Антоновна\***, Неверова Г.П.\*\*, Фрисман Е.Я.\*\*

*Учет характера динамики численности мелких млекопитающих при моделировании динамики численности популяций таежных клещей*

\*Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск), Россия

\*\*Институт комплексного анализа региональных проблем РАН (Биробиджан), Россия

**11:45 Рубан Анатолий Иванович\***, Михалев А.\*

*Глобальная оптимизация на множестве смешанных переменных: непрерывных и дискретных с упорядоченными возможными значениями*

\*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия

**12:00 Витова Татьяна Брониславовна\***

*Модель движения людей SIGMA.CA*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**10:30–16:30 Информационные технологии**

*Председатель: д.т.н. Симонов Константин Васильевич*

**10:30 Коробко Алексей Александрович\***

*Синхронизация веб-системы сбора данных и централизованного хранилища мониторинговых данных*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**10:45 Саклаков Василий Михайлович\***

*Современные технологии обработки больших данных*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

11:00 Мельников П.В.\*, **Рылов Сергей Александрович\***, Синявский Ю.Н.\*, Пестунов И.А.  
*Технология формирования тематических слоев для сегментации спутниковых изображений высокого пространственного разрешения*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

11:15 **Соловьев Александр Анатольевич\***

*Компьютерные системы аналитических преобразований в задачах оценки надежности считывания цифровых изображений*

\*Институт автоматизации и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

11:30 **Дресвянский Денис Владиславович\***, Митрофанов С.А.\*

*Сравнение эффективности методов интеллектуального анализа данных в задачах распознавания изображений*

\*Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева (Красноярск), Россия

11:45 **Кихтенко Владимир Андреевич\***

*Анализ производительности системы доступа к файловому архиву спутниковых снимков*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

12:00 **Евсюков Александр Анатольевич\***

*Картографическое отображение оперативной обстановки в системах мониторинга*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

12:15 **Кабанов Алексей Анатольевич\***, Диденко А.О.

*Геодинамический мониторинг очаговых зон сильных землетрясений*

\*Некоммерческое партнёрство «Экологический центр рационального освоения природных ресурсов», Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» КНЦ СО РАН (Красноярск), Россия

## 12:30–14:00 **Обеденный перерыв**

14:00 Гиниятуллина О.Л.\*, **Харлампенков Иван Евгеньевич\***

*Применение каталога метаданных для управления и систематизации пространственных данных*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН, кемеровский филиал (Кемерово), Россия

14:15 **Гиниятуллина Ольга Леоновна\***, Харлампенков И.Е.\*, Сидоренко П.В.\*\*

*Концепция построения геоинформационных систем оценки биоразнообразия с использованием сетевых технологий*

\*Институт вычислительных технологий СО РАН, кемеровский филиал (Кемерово), Россия

\*\*Государственная служба по надзору и контролю в сфере образования Кемеровской области (Кемерово), Россия

14:30 **Васильева Екатерина Евгеньевна\***, Евсюткин И.В.\*

*Интеллектуальная информационная система управления геолого-техническими мероприятиями на фонде скважин нефтегазодобывающего предприятия*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

14:45 **Столбов Александр Борисович\***

*Реализация алгоритма поддержки проектирования реактивных агентов на примере социально-экономической модели региона*

\*Институт динамики систем и теории управления СО РАН (Иркутск), Россия

15:00 Гергет О.М.\*, **Девярых Дмитрий Владимирович\***

*Нейродинамическое выделение электрокардиограммы плода*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**15:15 Боброва Маргарита Владимировна\***

*Информационная технология выявления скрытых закономерностей в задаче анализа медицинских данных*

\*Томский политехнический университет (Томск), Россия

**15:30 Красовицкая Кристина Андреевна\***

*Разработка среды анализа кардиологических данных*

\*Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск), Россия

**15:45 Пестова Анастасия Сергеевна\***

*Кластерный анализ ДНК на основе пиковой характеристики символического разнообразия*

\*Высшая школа экономики (Москва), Россия

**16:00 Шишов Борис Александрович\*, Изюмов Б.Д.\***

*Разработка системы отслеживания эмоционального состояния диспетчера в реальном времени*

\*Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (Москва), Россия

**16:15 Парыгин Александр Викторович\*, Вольф А.А.\*, Зюбин В.Е.\*, Достовалов А.В.\*, Бабин С.А.\***

*1D система стабилизации положения оптического волокна*

\*Институт автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск), Россия

**16:30 Жучков Дмитрий Викторович\***

*Пакетная передача сведений об объектах реляционной базы данных в распределенной сети учреждений*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

**16:30–17:00 Перерыв (кофе-брейк)**

**17:00 Подведение итогов и закрытие конференции**

**17:00 Шайдунов Владимир Викторович\***

*Математическое моделирование прохождения астероидно-кометных тел через атмосферу Земли*

\*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия

## 1. Вычислительные технологии

### 1.1. Абрамов Т.В. Использование теоремы о свертке в задаче моделирования неустойчивости Релея-Тейлора

Роль теоремы о свертке, как и область ее применения чрезвычайно велика. Для численных расчетов особое значение имеет алгоритм вычисления дискретной циклической свертки с помощью быстрых дискретных преобразований Фурье (БДПФ). Он кардинально уменьшает сложность многих вычислительных операций с  $O(N^2)$  до  $O(N \log(N))$ . На этом основан быстрый алгоритм умножения полиномов и чисел, обработка сигналов, в том числе многомерных. Применимость теоремы не зависит от предметной области задач, а только от того, удастся ли привести вычислительную операцию к циклической свертке.

Автору удалось с помощью этого ускорить моделирование неустойчивости Релея-Тейлора в высоковязкой ньютоновской жидкости. Для соответствующей краевой задачи в полупространстве со свободной поверхностью известно аналитическое выражение функции Грина [1], поэтому ее решение можно найти как интеграл от произведения этой функции  $G$  с правой частью уравнения  $f$ . Эта операция не эквивалентна циклической свертке, но ее удалось привести к нужному виду путем доопределения  $G$  и  $f$  до некоторых периодических  $\hat{G}$  и  $\hat{f}$  так, что их циклическая свертка дает искомое решение краевой задачи. Полученный метод был верифицирован путем сравнения с работой программ, вычисляющих интеграл непосредственно [2]. Он универсален и может быть использован для быстрого решения других краевых задач.

Высокая скорость работы алгоритма имеет принципиальное значение для решаемой практической задачи, т. к. неустойчивостью Релея-Тейлора описывается процесс соляного диапиризма — всплытия твердой каменной соли в геологическом масштабе времени. Он в высокой степени влияет на распределение углеводородов практически во всех нефтегазоносных провинциях, а для его изучения требуется решать множество задач прямого моделирования.

*Работа выполнена в рамках Программы VIII.73.2 фундаментальных научных исследований СО РАН. Научный руководитель — д.ф.-м.н. Лаврентьев М.М.*

#### Список литературы

- [1] Лунёв Б. В. Изостазия как динамическое равновесие вязкой жидкости // Доклады АН СССР. — 1986. — Т. 290, № 1. С. 72–76.
- [2] Лунёв Б. В., Абрамов Т. В. Моделирование соляного диапиризма расчетом 3D ползущих течений с использованием технологии параллельных вычислений CUDA на GPU // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. Новосибирск: СГГА. — 2014. — С. 148–152.

### 1.2. Агбаш И.А., Соболев А.Ю. Нейросетевые процедуры обработки каротажных данных ВИКИЗ и БКЗ

Электрические и электромагнитные методы исследования скважин основаны на дифференциации горных пород по удельному электрическому сопротивлению (УЭС) и позволяют восстановить пространственное распределение УЭС. Интерпретация данных высокочастотного индукционного каротажа (ВИКИЗ) и бокового каротажного зондирования (БКЗ) состоит из стандартных операций: расстановка границ, снятие отчетов, построение стартового решения, решение обратной задачи. Каждый этап существенно влияет на достоверность полученного результата. Существуют автоматические реализации этих этапов требующие участия интерпретатора и корректировки. Так, автоматические алгоритмы расстановки границ, основанные на методах градиента, и алгоритмы снятия пластовых отсчетов имеют существенные ограничения на толщину выделяемых слоев вследствие нелокальности каротажного метода и существенного в случае БКЗ влияния вмещающих пластов. Решение обратной задачи методами подбора параметров модели требует ресурсоемкого решения большого количества прямых задач.

Искусственные нейронные сети успешно применяются во многих областях в качестве аппроксиматоров и для решения задач распознавания образов [1]. Поэтому в нашем исследовании по улучшению качества и увеличения скорости интерпретации каротажных данных использованы искусственные сети в качестве аппроксиматора прямого решения и метода для определения границ пластов. Расстановка границ решалась как задача распознавания образов, и после обучения многослойная нейронная сеть показала лучший результат по сравнению с автоматическим алгоритмом и сходный с результатом работы геофизика-интерпретатора. Остальные этапы интерпретации — снятие отчетов, стартовое решение, прямая задача — моделировались при помощи нейронных сетей, что позволило добиться существенного ускорения (в 1000 и более раз) при погрешности не больше аппаратурной (менее 3%) [2].

#### Список литературы

- [1] Poulton M. M. Computational neural networks for geophysical data processing. / Oxford. — 2001.
- [2] Сердюк К. С., Агбаш И. А., Соболев А. Ю. Построение быстрых аппроксимационных модулей решения задач высокочастотного электромагнитного каротажа // ГЕО-Сибирь-2013. Новосибирск. — 2013. — Т. 2, С. 96–101.

### 1.3. Алипова Д. Модель миграции газа вдоль цементной пробки в обсаженной цементированной скважине

При эксплуатации нефтяных скважин возникает необходимость изолировать продуктивные

нефтеносные слои от водоносных, а также отделить нефтеносные слои друг от друга. Для этого применяется технология цементирования скважин. В результате застывания цементного раствора, помещенного внутрь обсадной колонны, образуется цементная пробка. К нижнему торцу пробки приложено пластовое давление, к верхнему – давление жидкости в скважине. Изменения этих давлений, а также других параметров среды, окружающей пробку, могут привести к нарушению целостности пробки или ее связи с обсадной колонной и прорыву жидкости из одной части скважины в другую. Работа посвящена моделированию возникающей трещины и оценке опасности нарушения изоляции.

За основу взята модель гидроразрыва пласта, основанная на гипотезе независимости поперечных сечений (РКН модель), обобщенная на случай сложной геометрии сечения. Одномерность данной модели позволяет существенно экономить вычислительные ресурсы и описывать распространение длинных трещин.

В работе модель нарушения изоляции цементной пробки обобщена на случай миграции газа. Для описания течения газа используются уравнение Рейнольдса для сжимаемой смазки и уравнение состояния идеального газа.

В ходе работы выполнен анализ чувствительности времени прорыва пробки газом к исходному напряженному состоянию цемента и давлению в резервуаре. Проведен сравнительный анализ времени прорыва пробки газом и несжимаемой жидкостью. Показано влияние сжимаемости на процесс распространения трещины.

*Научный руководитель – к.ф.-м.н. Лапин В.Н.*

#### Список литературы

- [1] LECAMPION B., BUNGER A., KEAR J., QUESADA D. Interface debonding driven by fluid injection in a cased and cemented wellbore: Modeling and experiments. // Int. J. of Greenhouse Gas Control. — 2013. — P. 210–212.
- [2] PIVA A. A crack along a circular interface between dissimilar media. // Meccanica. — 1982. — Vol. 17, No. 2, P. 85–90.

#### 1.4. Андреева К.Н., Барановский Н.В. Математические модели для разработки нового поколения систем геомониторинга лесных массивов

Лесные пожары — явление достаточно обычное для большей части таежной зоны России, они имеют огромное значение в жизни леса. Огонь является мощным экологическим фактором, изменяющим окружающую среду, но лесные пожары далеко не всегда вызывают стораение леса.

Непосредственное воздействие пожара на древостой чаще всего проявляется в нанесении огневых повреждений (травм). Огневые повреждения влекут за собой или смерть деревьев, или их ослабление,

вследствие чего деревья быстро становятся жертвой вредных насекомых и грибов. Наконец, огневые ранения вызывают анатомические изменения в деревьях и не только ослабление, но и усиление их прироста и плодоношения.

Так как проведение экспериментальных исследований является проблемой, вследствие того, что степень и вид повреждения деревьев зависит не только от характеристик лесного пожара, но и определяется пирологическими свойствами каждой породы и насаждений их в целом. Следовательно, рациональным является исследование влияния тепловых режимов на древесные растения с применением методов численного моделирования.

Рассматривается влияние теплового воздействия на хвойные деревья на примере математической модели, представляющей одномерное уравнение теплопроводности в цилиндрической системе координат. Решение данного уравнения позволяет определить температурное поле в цилиндре радиусом  $R$ . Для решения сформулированной краевой задачи применяется метод конечных разностей. Получившуюся систему алгебраических уравнений решаем методом прогонки.

Такие математические модели могут стать основой для создания нового поколения информационных систем геомониторинга лесных массивов. Основное назначение таких систем — прогнозирование и оценка термических травм древостоя при активных лесных пожарах на контролируемой лесопокрытой территории.

#### 1.5. Ахмедова С.Ю., Зотеев В.Е. Численный метод оценки параметров упруго пластичного деформирования конструкций

Состояние современного машиностроения в качестве одной из главных задач перед теоретической наукой ставит проблему увеличения ресурса при одновременном форсировании режимов работы установок и снижения их материалоемкости. Последнее автоматически приводит к увеличению рабочих напряжений, появлению неупругих реологических деформаций, интенсификации процессов рассеянного накопления поврежденности и, как следствие этого, необходимости разработки методов оценки предельного ресурса. Актуальность исследований предельного ресурса оборудования обусловлена, прежде всего, неуклонным возрастанием доли элементов конструкций, отработавших расчетный или нормативный срок службы. При этом задача усложняется наличием большого разброса механических характеристик материала.

Для решения проблемы увеличения ресурса конструкций в условиях упруго пластичного деформирования необходима разработка методов построения моделей упругопластического деформирования конструкций, допускающих как теоретическое, так и экспериментальное определение параметров

и функций модели. Известные методы определения констант, описывающих диаграмму мгновенного упругопластического деформирования, не используют статистические методы обработки экспериментальных данных, вследствие чего адекватность построенных математических моделей результатам наблюдений не высока. Это объясняется принципиальной сложностью задачи нелинейного оценивания, решение которой необходимо при нахождении параметров упругопластического деформирования.

Предлагается новый численный метод нелинейного оценивания констант диаграммы мгновенного деформирования, построенной в ходе эксперимента. В основе метода лежит сведение задачи нелинейной регрессии к итерационной процедуре среднеквадратического оценивания коэффициентов обобщенной регрессионной модели, сформированной на основе разностных уравнений, описывающих результаты наблюдений. Такой подход к решению задачи нелинейного оценивания позволяет минимизировать среднеквадратичное отклонение модели упругопластического деформирования от экспериментальных данных.

#### Список литературы

- [1] Радченко В. П., Еремин Ю. А. Реологическое деформирование и разрушение материалов и элементов конструкций. / М.: Машиностроение, 2004. — 264 с.
- [2] Зотеев В. Е. Параметрическая идентификация диссипативных механических систем на основе разностных уравнений. / М.: Машиностроение, 2009. — 344 с.
- [3] Демиденко Е. З. Линейная и нелинейная регрессия. / М.: Финансы и статистика, 1981. — 302 с.

#### 1.6. Балакирев Н.А., Жигарев В.А. Численное моделирование роста квазидвумерных кластеров во внешнем магнитном поле

При высокодозной имплантации ионов железа в кремний в тонком поверхностном слое мишени формируется новая фаза — магнитный силицид железа Fe<sub>3</sub>Si. Предполагается, что формирующаяся магнитная пленка состоит из квазидвумерных ферромагнитных кластеров. При проведении имплантации в присутствии магнитного поля [1] пленка обладает ярко выраженной одноосной магнитной анизотропией в плоскости. В настоящей работе формирование ферромагнитных кластеров в тонкой пленке моделировалось на основе модифицированной модели Виттена–Сандера [2]. В рамках этой модели учитывалось влияние диполь-дипольного взаимодействия на движение частиц вблизи кластеров. При компьютерном моделировании возможность перестроения частиц железа, достигающих кластер, в структурный блок растущей фазы допускалась только при достижении определенного уровня концентрации железа вблизи границы кластера. Численный расчет характеристик сформированных

кластеров (относительное удлинение, фрактальная размерность и т.д.) показывает существенное влияние внешнего магнитного поля на их форму и внутреннюю структуру.

#### Список литературы

- [1] GUMAROV G. G., PETUKHOV V. YU., ZHUKHAREV V. A., VALEEV V. F., KHAIBULLIN R. I. Investigation of the magnetic anisotropy of silicide films ion-beam synthesized in the external magnetic field // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. — 2009. — Vol. 267, No. 8, P. 1600–1603.
- [2] BALAKIREV N. A., GUMAROV G. G., ZHUKHAREV V. A., PETUKHOV V. YU. Diffusion-limited aggregation at multiple centers: Model of dendrite growth at ion beam synthesis of magnetic films in external field // Computational Materials Science. — 2011. — Vol. 50, No. 10, P. 2925–2929.

#### 1.7. Батуев С.П. Математическое моделирование разрушения железобетонных конструкций при импульсных нагрузках

Железобетонные конструкции имеют широкое применение в самых различных областях. При разработке новых конструкций, помимо анализа поведения отдельных элементов при различных видах воздействия, необходим так же анализ поведения конструкции в целом. Проведение с этой целью натуральных экспериментов сопряжено, как правило, с большими материальными затратами, и не всегда эксперимент дает полную картину, особенно это касается динамических процессов, когда необходима информация об интересующих параметрах в различные моменты времени. Поэтому существует потребность в моделях и методах, позволяющих проводить анализ и предсказывать поведение конструкций при различных видах эксплуатационных нагрузок и возможных нештатных ситуациях.

Для адекватного описания поведения конструкций необходимо учитывать пространственный характер реализующегося в них напряженно-деформированного состояния (НДС), обусловленный несколькими факторами: 1) наличие элементов, приводящих к геометрической несимметричности; 2) учет реальных условий нагружения — как правило, они не симметричны; 3) анизотропия физико-механических свойств материалов элементов конструкций. Наличие хотя бы одного из вышеперечисленных факторов делает необходимым проведение анализа в трехмерной постановке, что является весьма сложной и трудоемкой задачей, так как в этом случае помимо создания адекватной модели поведения материалов необходимо наиболее реально учитывать геометрию и пространственное расположение различных элементов конструкции. В работе представлены и результаты численного моделирования взаимодействия самолета Boeing 747–400 с защитной оболочкой атомной станции.

Оболочка имела сложную многослойную сотовую структуру, состоящую из слоев бетона и фибробетона, скрепленных со стальными фермами. Численное моделирование проводилось в трехмерной динамической постановке, с использованием авторского алгоритма и программного комплекса, в котором реализован алгоритм построения сетки сложных геометрических объектов. За счет использования параллельных вычислений количество конечных элементов составляло до 100 млн.

**1.8. Бекежанова В.Б., Гончарова О.Н. О конечно-амплитудных возмущениях двухслойных возмущений с испарением**

Для оптимизации дорогостоящих экспериментов по совершенствованию систем термостабилизации и жидкостного охлаждения, а также работы испарителей и конденсаторов, проводится теоретическое исследование основных характеристик течения рабочих сред.

В рамках модели Обербека–Буссинеска изучено совместное двухслойное течение вязкой теплопроводной жидкости и парогазовой смеси в плоском микроканале. В газовой фазе дополнительно учитывается эффект Дюфура. На твердых внешних стенках канала поддерживается линейное распределение температуры, на верхней границе выполнено условие отсутствия потока пара, межфазной границей является термокапиллярная плоская и недеформируемая поверхность раздела. Получены точные представления функций скорости  $u$ , температуры  $\theta$ , давления  $p$  в обеих средах и концентрации пара  $C_s$  в парогазовой смеси. Изучены характеристики основного течения и особенности конвективных режимов в зависимости от значений продольных градиентов температуры, расходов рабочих сред и геометрии системы.

В рамках линейной теории исследованы характеристики и эволюция нестационарных периодических по продольной координате конечно-амплитудных возмущений основного течения в системе «НФЕ-7100–азот». В общем случае, когда градиенты температур на верхней и нижней стенке канала различны, задача об устойчивости требует численного решения линеаризованной системы, переписанной в терминах «функция тока–вихрь», конечно-разностным методом. В качестве начальных данных  $U_0, T_0, C_0$  задаются возмущения скорости, температуры и концентрации, амплитуды которых пропорциональны соответствующим характеристикам основного течения  $u, \theta, C_s$ .

Установлено существование монотонных и колебательных возмущений, которые могут нарастать или затухать в зависимости от величины начальных возмущений  $U_0, T_0, C_0$ , расходов сред и интенсивности тепловой нагрузки. Дестабилизирующий механизм (гидродинамический или термокапиллярный) также зависит от параметров возмущающих воздей-

ствий. Течение является устойчивым только при малых расходах и градиентах температур, при этом все возмущения затухают монотонно. При больших расходах рабочих сред наиболее опасными являются гидродинамические возмущения, приводящие к формированию вихревых структур. В условиях устойчивой температурной стратификации при большой тепловой нагрузке за счёт термокапиллярного эффекта развиваются нарастающие колебательные возмущения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-08-00163).*

**1.9. Бекежанова В.Б., Шефер И.А. Устойчивость микроконвективных течений расплава диоксида кремния**

Моделирование течений жидких неизотермических сред представляет серьезную теоретическую задачу, возникающую при прогнозировании динамики различных технологических процессов (получение сверхчистых кристаллов, интенсификация теплообмена и др.) Для определения условий устойчивого функционирования систем и возможностей управления конвективными течениями проводится анализ возникающих неустойчивостей, механизмов и характера кризисных явлений.

На основе уравнений микроконвекции [1] рассмотрена задача о течении жидкости в вертикальном канале в небуссинесковских условиях. Решение уравнений микроконвекции, описывающее подобные течения имеет вид [1]

$$\mathbf{w} = (u_0, v(x), 0), \quad \theta = \theta(x), \quad q = (\varphi - g)y + r. \quad (1)$$

Здесь,  $\mathbf{w} = \mathbf{u} - \beta\chi\nabla\theta$ ,  $q = \rho_0^{-1}(p - \lambda\text{div}\mathbf{u}) - \beta(\nu - \chi)\chi\Delta\theta$  — модифицированные вектор скорости и давление соответственно,  $\theta$  — температура,  $u_0, \varphi, r$  — постоянные,  $g$  — ускорение свободного падения. Точное решение (1) изучено в рамках различных постановок краевых задач, использующих условия первого и второго рода для функции температуры на стенках канала. В зависимости от значений  $u_0$  и вида функции температуры  $\theta(x)$  решение (1) допускает различную физическую интерпретацию. Возможны три случая: 1) конвекция в слое с проницаемыми границами ( $u_0 \neq 0$ ) с линейным распределением температуры в слое. Допускается использование обоих классов граничных условий, существует ограничение на значения потоков тепла на стенках; 2) конвекция в слое с непроницаемыми стенками ( $u_0 \neq 0$ ) с экспоненциальным распределением температуры в слое. На стенках канала могут быть заданы только граничные условия Дирихле; 3) изотермическое течение ( $\theta = \text{const}$ ), возникающее под действием градиента давления в слое с непроницаемыми стенками ( $u_0 = 0$ ). Формально могут быть заданы оба класса граничных условий.

Исследована линейная устойчивость всех классов течений относительно малых пространственных

возмущений. Предложен аналог преобразования Сквайра для соответствующей спектральной задачи и доказано, что наиболее опасными являются плоские возмущения. Аналитически доказана абсолютная устойчивость в случае “спиральных возмущений” и определены соответствующие собственные функции.

В общем случае рассчитаны поля возмущений скорости и температуры и изучены зависимости характеристик возмущений от параметров задачи. Для неизотермических течений доказано существование затухающих колебательных режимов.

Для пространственных возмущений задача имеет более богатый спектр и, как следствие, более широкое семейство возможных конвективных режимов по сравнению с плоским случаем. В условиях микрогравитации формируются мелкокомасштабные ячеистые возмущения, совершающие периодические колебания и затухающие со временем. Размеры конвективных ячеек и их конфигурация зависят от длины волны возмущений и уровня гравитационного воздействия.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-01-31038).*

#### Список литературы

- [1] Пухначёв В.В. Модель конвективного движения при пониженной гравитации // Моделирование в механике. — 1992. — Т. 6(23), № 4. С. 47-56.

#### 1.10. Белоглазов И.Ю. Выбор режима кредитования предприятия путем моделирования в среде Matlab/Simulink

Оптимальное использование финансовых ресурсов для развития предприятия связано с выбором схем получения и выплаты кредитов во времени. Банки, обычно, предоставляют кредиты по трём схемам погашения: по аннуитету с равномерной выплатой, с начислением процентов на остаток долга, с созданием фонда погашения на счете. Получение кредита во времени связано с интенсивностью использования дохода в развитии предприятия. Общая схема развития предприятия может быть описана дифференциальным уравнением:

$$\frac{dP(t)}{dt} = d(t)fP^n(t) + K(t) - S(t) - N(t) - I(t)$$

где  $P(t)$  — основные фонды предприятия;  $d(t)$  — доля, выделяемая на развитие предприятия;  $f$  — коэффициент фондоотдачи;  $n$  — показатель в производственной функции Кобба–Дугласа;  $K(t)$  — кредиты;  $S(t)$  — выплаты по кредитам;  $N(t)$  — выплата налогов;  $I(t)$  — инфляция.

Функции в правой части уравнения имеют нелинейный, разрывной и дискретный вид. Решение задачи построено с использованием модуля Simulink пакета Matlab [1]. Общая блок-схема решения содержит подсистемы производства, получения кредитов, выплаты по кредитам, налогообложения и инфляции.

С помощью блоков непрерывного и дискретного изменения параметров, дискретного интегрирования во времени и логики проведено наполнение подсистем согласно математическим функциям правой части уравнения.

Моделирование развития основных фондов предприятия проводилось для различных вариантов схем получения и погашения кредитов. В расчетах использовались данные предприятия «Электрум» (г. Самара). Результаты моделирования показали, что оптимальный вариант получения кредитов связан не только с минимальными суммами выплат по кредиту, но и со схемой получения кредитных инвестиций во времени.

*Научный руководитель – к.т.н. Пономарев В.П.*

#### Список литературы

- [1] Черных И.В. Simulink: Среда создания инженерных приложений. / М.: Диалог-МИФИ, 2004.

#### 1.11. Белоусов К.И., Кухтевич И.В., Букатин А.С., Евстапов А.А. Численное моделирование перемешивания веществ внутри капли в различных инжекторах микрофлюидного чипа

Перспективным подходом к созданию приборов и устройств для анализа и синтеза малых количеств веществ является «капельная» микрофлюидика [1]. Проведение химических реакций внутри капли имеет ряд преимуществ, в том числе – ускорение смешения компонентов пробы, происходящее, как вследствие малых размеров капли (диаметр 5–50 мкм), так и за счет организации вихревых потоков внутри неё [2]. Одним из наиболее часто используемых способов формирования капель является их генерация в фокусирующих потоках [3].

Целью данной работы являлось определение топологии микрофлюидного чипа, обеспечивающей наилучшее смешивание двух реагентов в капле на этапе её формирования. Для этого было проведено моделирование процессов формирования водоподобных капель в потоке масла для различных топологий микрофлюидных чипов. При моделировании использовались уравнения Навье–Стокса и неразрывности для описания переноса жидкостей. Смещение границы раздела двух несмешиваемых фаз определялось путем минимизации свободной энергии системы. Закон Фика использовался для расчета движения реагента, растворенного в дисперсной фазе. Уравнения решались методом конечных элементов в программе COMSOL Multiphysics. Для оценки эффективности перемешивания реагента после формирования капли внутри её границ вычислялся индекс смешивания, характеризующий отношение дисперсии концентрации реагента в капле к максимально возможной.

В результате моделирования были получены зависимости индекса смешения от капиллярного числа и

вязкости непрерывной фазы. Было установлено, что уменьшение капиллярного числа приводит к уменьшению индекса смешивания при увеличении диаметра капель. Высокая вязкость непрерывной фазы обеспечивает формирование вихревых потоков в области генерации капель, что приводит к росту индекса смешивания в асимметричных топологиях, но не оказывает существенного влияния на перемешивания в классических симметричных топологиях. Таким образом, асимметричное расположение каналов позволяет увеличить индекс смешивания примерно в 1,5 раза по сравнению с их классической компоновкой.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект №15-19-10041), при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01) и при финансовой поддержке университета ИТМО (тема № 415831).*

#### Список литературы

- [1] LEE C. C., SNYDER T. M., QUAKE S. R. A microfluidic oligonucleotide synthesizer // *Nucleic acids research*. — 2010. — Vol. 38, P. 2514–2521.
- [2] SUN Y. K., KANG S. A review on mixing in microfluidics // *Micromachines*. — 2010. — Vol. 1, No 3, P. 82–111.
- [3] КУХТЕВИЧ И. В., ПОСМИТНАЯ Я. С., БЕЛОУСОВ К. И., БУКАТИН А. С., ЕВСТРАПОВ А. А. Принципы, технологии и устройства "капельной" микрофлюидики. Ч. 1 // *Научное приборостроение*. — 2015. — Т. 25, № 3, С. 65–85.

#### 1.12. Бояркина К.Е. Местное гидравлическое сопротивление для течения неньютоновской жидкости в трубе со скачком сечения

В представленной работе рассматривается ламинарное стационарное течение неньютоновской жидкости в цилиндрической трубе со скачком сечения типа сужение или расширение. Основная система уравнений записывается в переменных вихрь-функция тока в цилиндрической системе координат и замыкается реологической моделью Оствальда–де Вилля. Жидкость поступает в трубу через входное сечение с постоянным расходом, профиль скорости при этом соответствует установившемуся течению рассматриваемой реологической среды. На твердой стенке реализуются условия прилипания, на выходной границе используются мягкие граничные условия. На оси симметрии трубы выполняются условия симметрии.

Для получения стационарного решения применяется метод установления с последующей реализацией численного алгоритма на основе конечно-разностной схемы переменных направлений. Для обеспечения сходимости метода расчета течения в широком диапазоне изменения степени нелинейности жидкости проводится регуляризация реологического уравнения.

На основе восстановленной картины течения для количественного анализа вводятся безразмерные геометрические характеристики потока: длина циркуляционных зон, возникающих в окрестности углов, длины участков двумерного течения до и после скачка сечения трубы. Получены зависимости этих характеристик от числа Рейнольдса, отношения радиусов широкой и узкой частей трубы и параметра нелинейности в реологической модели жидкости. Определены местные гидравлические сопротивления в зависимости от значений определяющих параметров.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № 2014/223 (код проекта 1943) и РФФИ (проект № 15-08-02256а)*

*Научный руководитель: д.ф.-м.н. Шрагер Г. Р.*

#### 1.13. Витова Т.Б. Модель движения людей SIgMA.CA

В работе рассматривается задача построения модели движения людей. Применяется дискретный стохастический подход на основе теории клеточных автоматов. За основу были взяты работы [1, 2].

Геометрия пространства и расположение людей (частиц) в нём известны. Пространство представляет собой плоскость, разбитую на ячейки, которые могут быть либо свободными, либо занятыми только одной частицей. В ячейках также могут располагаться стены и другие препятствия.

Полагается, что геометрия пространства известна частицам и отражена в «карте местности» поле  $S$ . Поле  $S$  совпадает с геометрией пространства и также разбито на ячейки. Ячейки поля содержат минимальное расстояние до ближайшего выхода.

На каждом временном шаге частица может переместиться в одну из четырех соседних ячеек, либо остаться на прежнем месте (окрестность фон Неймана). Новое положение частицы определяется в каждый дискретный шаг времени на основе вероятностей и правил переходов.

Задача состоит в том, чтобы определить вероятности и правила переходов таким образом, чтобы воспроизводить направленное к цели движение частиц в зданиях и сооружениях различной геометрии, чтобы выполнялись определённые свойства движения людей.

Вероятности переходов вычисляются таким образом, чтобы придавать больший вес нужным направлениям для реализации таких свойств движения человека, как направленность движения к цели следования, психологическое отталкивание от стен и от других участников движения, стратегии кратчайшего и быстрого пути.

Также стандартные правила переходов были модифицированы, чтобы воспроизводить стратегию терпеливого человека.

*Научный руководитель – к.ф.-м.н. Кирик Е.С.*

### Список литературы

- [1] BURSTEDDE C., KLAUCK K., SCHADSCHNEIDER A., ZITTARTZ J. Simulation of pedestrian dynamics using a two dimensional cellular automaton // Physica A. — 2001. — No. 295, P. 507–525.
- [2] NISHINARI K., KIRCHNER A., NAMAZI A., SCHADSCHNEIDER A. Extended floor field CA model for evacuation dynamics // IEICE Transactions on Information and Systems, E87-D. — 2004. — P. 726–732.

#### 1.14. *Вшивкова О.А., Неворова Г.П., Фрисман Е.Я.* **Учет характера динамики численности мелких млекопитающих при моделировании динамики численности популяций таежных клещей**

В данной работе предлагается и исследуется модифицированная модель «ресурс — потребитель», направленная на описание динамики численности популяции клеща (потребитель) с учетом плотности мелких млекопитающих (ресурс), которые являются основными прокормителями клеща на начальных (преимагинальных) фазах развития. Блок «потребитель» представляет собой систему уравнений, описывающих динамику численности популяции клеща с учетом возрастной структуры. Блок «ресурс» описывает динамику численности популяции мышевидных грызунов с учетом особенностей их жизненного цикла и плотностно-зависимой регуляции процессов воспроизводства.

В ходе исследования показано, что в случае, когда численность прокормителя постоянна, тип достигаемого асимптотического режима популяции клеща (популяция клеща либо вырождается, либо неограниченно растет) зависит от численности популяции прокормителя.

В случае, когда, численность прокормителя колеблется с двухлетним периодом, численность популяции клеща вырождается или неограниченно растет, также совершая двухгодичные колебания. Найдена функциональная зависимость между репродуктивным потенциалом популяции клеща и среднемноголетней численностью мышевидных грызунов, позволяющая отделить один динамический режим (популяция клеща вырождается) от другого (популяция клеща неограниченно растет). Показано, что изменение амплитуды колебаний численности мелких млекопитающих при одних и тех же значениях репродуктивного потенциала популяции клеща и среднемноголетней численности прокормителя способно привести к смене типа достигаемого асимптотического режима динамики численности клеща.

При других колебательных режимах динамики численности прокормителя, как и ранее, тип достигаемого асимптотического режима популяции клеща определяется значением его репродуктивного потенциала, при этом, траектории демонстрируют

флуктуации, следуя за колебаниями численности прокормителя, как правило, повторяя характер его динамики. В силу того, что в популяции мышевидных грызунов, при одних и тех же значениях параметров модели могут сосуществовать разные динамические режимы (в частности, устойчивое равновесие и 3-цикл, 2-цикл и 3-цикл, хаотическая и квазипериодическая динамика), вариация начальных условий может привести к смене динамического режима популяции прокормителя, которая в свою очередь может вызвать смену асимптотического режима популяции клеща. Следует отметить, что смена типа динамики численности популяции клеща определяется значением его репродуктивного потенциала, и возможна в ограниченном диапазоне его значений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-31-50285-мол\_нр).*

#### 1.15. *Вяткин А.В.* **Об одном алгоритме из семейства полулагранжевых методов**

Представлен численный алгоритм из семейства полулагранжевых методов для решения трехмерного уравнения неразрывности. Метод основан на интегральном законе сохранения, который сформулирован в виде тождества интегралов с областями интегрирования на соседних слоях по времени. В качестве области интегрирования на верхнем слое по времени  $t_m$  используется кубическая окрестность  $\Omega_{i,j,k}$  узла  $(x_i, y_j, z_k)$  сетки  $D_h$ . В этом случае на нижнем слое по времени  $t_{m-1}$  область интегрирования  $V_{i,j,k}$  определяется траекториями движения точек с верхнего слоя по времени на нижний слой. Как правило [1, 2], основные вычислительные затраты состоят в вычислении значения интеграла на нижнем слое

$$\int_{V_{i,j,k}} \rho(t_{m-1}, \xi, \eta, \theta) d\xi d\eta d\theta.$$

Главная особенность алгоритма состоит в использовании преобразования

$$G = (G^x(x, y, z), G^y(x, y, z), G^z(x, y, z))$$

области интегрирования  $V_{i,j,k}$  в кубическую окрестность  $\Omega_{i,j,k}$ . Такое преобразование позволяет переписать интеграл в виде

$$\int_{\Omega_{i,j,k}} \rho(t_{m-1}, G^x, G^y, G^z) \det(G) dx dy dz,$$

где  $\det(G)$  — якобиан преобразования  $G$ . Разработанный алгоритм имеет первый порядок точности. Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили сокращение вычислительных затрат и уменьшения общего времени расчетов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-01-31203).*

### Список литературы

- [1] Синь В., Вяткин А.В., Шайдуров В.В. Semi-Lagrangian scheme for solving hyperbolic equation of first order // Молодой ученый. — 2013. — № 9, С. 7–16.
- [2] Вяткин А.В., Ефремов А.А., Карепова Е.Д. и др. Использование гибридных вычислительных систем для решения уравнения переноса модифицированным методом траекторий // Труды V Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии (САИТ-2013)». — Красноярск: Институт вычислительного моделирования СО РАН, 2013. — С. 45–55.

### 1.16. Гермидер О.В. Математическое моделирование процессов переноса тепла в разреженном газе между цилиндрами

Рассматривается задача о переносе тепла в канале, стенки которого образованы двумя цилиндрами с радиусами  $R_1$  и  $R_2$  ( $R_2 \geq R_1$ ), расстояние между осями симметрии которых равно  $a$ :  $a \leq R_2 - R_1$ . Предполагается, что в канале поддерживается постоянный градиент температуры, направленный по оси аппликат (ось цилиндра радиусом  $R_1$ ). В качестве основного уравнения использовано уравнение Вильямса, записанное в цилиндрической системе координат, а в качестве граничного условия на стенках канала — модель диффузного отражения [1]. Отклонение состояния газа от равновесного полагается малым. Для нахождения линейной поправки к локально-равновесной функции распределения задача сведена к решению линейного однородного дифференциального уравнения в частных производных первого порядка

$$c_{\perp} \cos \psi \frac{\partial Z}{\partial \rho} - \frac{c_{\perp} \sin \psi}{\rho} \frac{\partial Z}{\partial \rho} + Z(\rho, \varphi, c_{\perp}, \psi) + 1 = 0 \quad (1)$$

с граничными условиями  $Z(\rho, \varphi, c_{\perp}, \psi) = 0$  на поверхностях цилиндров. С использованием метода характеристик построено аналитическое решение уравнения (1), удовлетворяющего граничным условиям. Исходя из статистического смысла функции распределения молекул газа по координатам и скоростям, построен профиль вектора потока тепла в канале и вычислен поток тепла через поперечное сечение канала. Показано, что в случае, когда радиусы каналов мало отличаются друг от друга и расстояние между осями симметрии каналов равно нулю, полученные в работе результаты переходят в аналогичные результаты для каналов с бесконечными параллельными стенками [2].

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Государственного задания «Создание вычислительной инфраструктуры для решения наукоемких прикладных задач» (Проект № 3628).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Попов В.Н.*

### Список литературы

- [1] Латышев А.В., Юшканов А.А. Кинетические уравнения типа Вильямса и их точные решения / Москва: Изд-во МГОУ, 2004. — 271 с.
- [2] Гермидер О.В., Попов В.Н., Юшканов А.А. Вычисление потока тепла в длинном канале постоянного прямоугольного поперечного сечения // Труды Междунар. конф. «Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, нанoeлектронных приборов и экологических технологий». — Москва: «Диона», 2015. — С. 53.

### 1.17. Голдин А.Ю., Блохин А.М. О построении областей двухфазных состояний для реального вещества в задаче об обтекании клина

В настоящем докладе обсуждается подход к построению областей двухфазных состояний для реальных газов, уравнение состояния которых взято из [1]. Для иллюстрации нашего подхода используются численные результаты из работ [2, 3], которые касаются обтекания клина обобщенным газом Ван-дер-Ваальса.

При построении областей двухфазных состояний мы используем принцип равных площадей Максвелла [4], с помощью которого строятся так называемые «истинные» изотермы при  $T < T_c$  ( $T_c$  — критическая температура), содержащие кусок изобары (для того, чтобы правильно описывать область перехода через двухфазное состояние вещества).

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Блохин А.М.*

### Список литературы

- [1] Фогельсон Р.Л., Лихачев Е.Р. Уравнение состояния реального газа // ЖТФ. — 2004. — Т. 74, вып. 7, С. 129–130.
- [2] Блохин А.М., Ткачѐв Д.Л. Анализ реализуемости условий нейтральной устойчивости ударных волн при обтекании клина неидеальным газом // ЖТФ. — 2015. — Т. 85, вып. 7, С. 20–30.
- [3] Блохин А.М., Бычков А.С., Мякишев В.О. О выполнении условия Лопатинского в задаче об обтекании клина нормальным газом и газом Ван-дер-Ваальса. Препринт / Новосибирск: Институт математики СО РАН, 2012. — № 280, С. 58.
- [4] Матвеев А.Н. Молекулярная физика / М.: Изд-ва «Оникс», «Мир и образование», 2006. — 360 с.

### 1.18. Гончарова О.Н., Люлин Ю.В., Шеффер И.А. О двухслойных течениях с испарением в микроканалах

Разработка теплоэффективных систем охлаждения микро- и миниэлектронного оборудования на основе жидкостных технологий требует предварительного теоретического анализа факторов, определяющих характеристики течений рабочей жидкости. Одним из важнейших вопросов экспериментального и теоретического исследования является поиск условий реализации устойчивых режимов течений. В настоящей работе изучена конвекция и процессы теплопереноса в двухслойной системе

«жидкость — парогазовая смесь» в полной постановке с учетом испарения на границе раздела. Для описания стационарного течения использована аппроксимация Бусинеска уравнений Навье — Стокса, дополненная учётом эффекта Дюфура в газе. На термокапиллярной границе раздела, остающейся недеформированной, требуется выполнение кинематического и динамического условий, непрерывности скоростей и температуры, условия для тепловых потоков с учетом массопереноса, баланса массы и соотношения для концентрации насыщенного пара. Построено новое точное решение, являющееся аналогом решения Остроумова — Бириха, позволяющее исследовать степень влияния эффекта Дюфура, геометрии системы и величин внешних возмущающих воздействий на характеристики течений. Данное решение характеризуется линейной зависимостью температуры, давления и концентрации относительно продольной координаты, векторы скорости для обеих сред имеют нулевую вертикальную составляющую и зависят только от поперечной координаты. Изучены возникающие режимы течений, условия формирования возвратных течений, интенсивность испарения при различных значениях продольного температурного градиента, расхода газа, высоты жидкого слоя.

Исследована линейная устойчивость полученного точного решения относительно малых нормальных возмущений и доказана устойчивость течения в случае длинноволновых возмущений. Установлено, что под действием термокапиллярного механизма в системе формируются вихревые структуры, вызывающие неоднородности полей температуры и концентрации пара. Для системы «НФЕ7100 — азот» численно исследовано влияние расхода газа и продольного градиента температуры на нижней стенке канала на характеристики возникающих возмущений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-08-00163).*

### 1.19. Горбачев Я.В. Симуляция блоховской динамики заряженной частицы в одномерной оптической решетке

Поведение заряженной частицы в двумерной решетке в присутствии электрического поля в плоскости решетки и перпендикулярного этой плоскости магнитного поля является одной из важнейших задач фундаментальной физики благодаря ее непосредственному отношению к эффекту Холла. Особый интерес эта задача получила в связи с развитием экспериментов с холодными атомами в оптических решетках. Исследование данного вопроса производится в настоящей работе методами математического моделирования.

Гамильтониан заряженной частицы, находящейся в электрическом и магнитном полях выглядит

следующим образом:

$$H = \frac{(\vec{p} - \frac{e}{c}\vec{A})^2}{2m} + V(\vec{r}) + e\vec{F}\vec{r},$$

$$V(x + ld, y + md) = V(x, y),$$

В работе используется приближение сильной связи, а также ряд специальных анзацев, адекватных физическим условиям, которые позволяют свести задачу о двумерной динамике квантовой частицы к одномерной. Численное интегрирование уравнения Шредингера производится с использованием метода Рунге — Кутты 4 порядка. Построение квазиклассического анализа производится с использованием формализма функции Вигнера, который позволяет представить в классическом фазовом пространстве канонических переменных импульса  $p$  и координаты  $x$  результаты квантовой динамики [1].

В результате анализа динамики выявлены основные динамические режимы в зависимости от ориентации электрического поля в решетке: режим осцилляций Блоха [2] и баллистический режим. Показаны различия между квантовой и классической динамикой.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-02-31148).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Коловский А.Р.*

### Список литературы

- [1] BACKER A., KETZMERICK R., MONASTRA A.G. Flooding of chaotic eigenstates into regular phase space islands // Phys.Rev.Letters — 2005. — Vol. 94, No 5, P. 054102–054106.
- [2] DANAN B., REIK M.E., REICHEL J. ET AL. Bloch oscillations of atoms in an optical potential // Phys. Rev. Letters — 1996. — Vol. 76, No 24, P. 4508–4511.
- [3] NAZARENO H.N., DE BRITO P.E. Carriers in a two-dimensional lattice under magnetic and electric fields // Phys. Rev. B — 2005. — Vol. 64, No 4, P. 045112–045118.

### 1.20. Горюхов А.А. Математическое моделирование процесса распространения возмущений в тектоническом разломе

В рамках предположения о закритическом деформировании микроразрушенного материала в глубинном тектоническом разломе, рассматриваемом как узкая протяженная зона, разделяющая массивные блоки горной породы, получено модельное уравнение для описания динамических процессов, обусловленных распространением упругих волн в блоках. Показано, что наряду с ограниченными решениями типа монохроматических волн уравнение обладает экспоненциально растущими со временем решениями — прогрессирующими стоячими волнами, но это не приводит к некорректности постановки задачи Коши. На основе дисперсионного анализа показано, что в соответствии с данным уравнением

низкочастотные возмущения в разломе распространяются с высокими скоростями, которые могут превосходить скорости волн в блоках, сохраняя неизменную амплитуду на больших временах пробега. Высокочастотные волны также движутся с большими скоростями, в отличие от волн средней частоты, скорости которых относительно невелики, но их амплитуды быстро затухают по мере продвижения вдоль разлома.

### 1.21. Григорьев А.Е. Мультиполярная модификация метода граничных элементов для моделирования течений Стокса

В представленной работе методом граничных элементов (МГЭ) [1], модифицированном на основе метода быстрых мультиполей, решается смешанная краевая задача для системы уравнений Стокса:

$$\begin{cases} \mu \Delta \mathbf{u} = \nabla p, \\ \operatorname{div} \mathbf{u} = 0, & \text{в } V \\ \mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}}, & \text{на } S_u, \\ \mathbf{t} = \bar{\mathbf{t}}, & \text{на } S_t, \end{cases} \quad (1)$$

где  $V$  — область с криволинейной границей  $\partial V = S = S_u \cup S_t$ ,  $\mathbf{u}$  — неизвестный вектор скорости, черта сверху означает известное значение. Величина вектора напряжений  $\mathbf{t}$  задается, как  $t_i = \sigma_{ij} n_j$ , где  $\sigma_{ij}$  — тензор вязких напряжений;  $n_j$  — компоненты внешней единичной нормали к  $S$ ;  $p$  — давление;  $\mu$  — динамическая вязкость.

Особенностью предложенной модификации МГЭ [2] является возможность нахождения неизвестных значений функции на границе и внутри области, без непосредственного формирования матрицы СЛАУ задачи (1) в памяти компьютера. А именно, с использованием быстрого метода мультиполей, формируется приближенное произведение матрицы на любой произвольный вектор, и, применяя для решения СЛАУ метод обобщенных минимальных невязок (GMRES), с каждой новой итерацией данное произведение приближается к искомому решению системы уравнений с необходимой точностью. Это позволяет значительно уменьшить необходимый объем памяти в сравнении с классическим МГЭ и ускорить время вычисления.

Ускорение процесса решения достигается построением квадродерева из групп граничных элементов (мультиполей), где взаимодействие при решении между отдельными элементами на границе  $S$  подменяется на взаимодействие между отдельными мультиполями квадродерева. Точность найденного решения при этом отличается лишь на доли процента от решения, найденного МГЭ.

Этот метод позволяет решать задачи с десятками тысяч узлов на границе при использовании персонального компьютера, что является недоступным для классического МГЭ. Эти особенности мульти-

польного подхода позволяют получить оценку времени вычисления  $O(N)$ , где  $N$  — число узлов.

Проведены расчеты обтекания цилиндра в плоском канале при малых числах Рейнольдса.

### Список литературы

- [1] POZRIKIDIS C. Boundary integral and singularity methods for linearized viscous flow / N.Y.: Cambridge university press, 1992. — 259 p.
- [2] LIU Y.J. A new fast multipole boundary element method for solving 2-D Stokes flow problems based on a dual BIE formulation // Engineering Analysis with Boundary Elements. — 2008. — Vol. 32, No 3, P. 139–151.

### 1.22. Гусев О.И. Численное исследование влияния дисперсии волн и вращения Земли на распространение цунами

Для приемлемого описания распространения волн цунами на продолжительное время и в больших по широтному и долготному направлениям акваториях требуются модели, учитывающие дисперсию и нелинейность, неровность дна и подвижность некоторых его фрагментов, криволинейность береговых линий, наличие островов и эффекты, связанные со сферичностью и вращением Земли. Первая полная НЛД-модель на вращающейся сфере была выведена в работе [1]. Ее можно вывести без предположения о потенциальности трехмерного течения и, в отличие от полной НЛД-модели [2], она записывается в виде законов баланса массы и импульса, а также имеет согласованное с трехмерной моделью уравнение баланса полной энергии. Заметим, что расчеты по полной модели из [2] не опубликованы до сих пор. В настоящей работе для численного моделирования поверхностных волн используется алгоритм [3], основанный на расщеплении системы НЛД-уравнений на вращающейся сфере [1] на равномерно эллиптическое уравнение для дисперсионной составляющей давления и гиперболическую систему уравнений мелкой воды первого приближения с модифицированной правой частью уравнения импульса. Алгоритм реализован в виде явной двухшаговой схемы предиктор-корректор, на каждом шаге которой поочередно решаются задачи, полученные в результате расщепления. На модельных и реальных задачах о распространении волн дана оценка важности учета эффектов, связанных со сферичностью Земли и ее вращением, а также дисперсионных эффектов от дальности распространения и длины волн.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 14-17-00219).

### Список литературы

- [1] FEDOTOVA Z.I., KHAKIMZYANOV G.S. Nonlinear-dispersive shallow water equations on a rotating sphere // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. — 2010. — Vol. 25, No 1, P. 15–26.
- [2] KIRBY J.T., SHI F., TEHRANIRAD B. ET AL. Dispersive tsunami waves in the ocean: Model equations

and sensitivity to dispersion and Coriolis effects // Ocean Modelling. — 2013. — Vol. 62, P. 39–55.

- [3] ГУСЕВ О.И., ХАКИМЗЯНОВ Г.С. Численное моделирование распространения длинных поверхностных волн по вращающейся сфере в рамках полной нелинейно-дисперсионной модели // Вычисл. технологии. — 2015. — Т. 20, № 3, С. 3–31.

**1.23. Дементьева Е.В., Карпова Е.Д. Численное решение уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости полулагранжевым методом**

В настоящей работе обсуждается полулагранжевый подход к численному моделированию течений вязкой несжимаемой жидкости в канале на основе уравнений Навье — Стокса. На границе вытока рассмотрено модифицированное граничное условие «do nothing» [1].

Применение полулагранжевого подхода для уравнений Навье — Стокса впервые рассмотрено в работе [2]. В данном подходе оператор транспортных производных аппроксимируется конечными разностями вдоль заданного направления или вдоль характеристик этого оператора. Применение подхода для нестационарных уравнений Навье — Стокса приводит к стационарным задачам с самосопряженным оператором на каждом временном слое. Кроме того, основная часть этого оператора является линейной и только его диагональные члены — нелинейные. Это значительно облегчает использование и обоснование метода конечных элементов.

В настоящей работе для двумерных уравнений Навье — Стокса для вязкой несжимаемой жидкости применяется полулагранжевая аппроксимация на каждом временном слое. В результате мы получаем последовательность стационарных уравнений Стокса с добавочным диагональным членом. Затем для полученных уравнений мы используем метод конечных элементов с биквадратичными конечными элементами на прямоугольниках для компонент скорости и с билинейными элементами для давления. Такой выбор элементов удовлетворяет условию Ладыженской — Бабушка — Бреucci [3], которое обеспечивает устойчивость по давлению.

В работе проведены тестовые расчеты. Результаты численных экспериментов подтверждают теоретические выводы и демонстрируют сходимость разработанного метода.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 14-01-00296, 14-01-31203).*

**Список литературы**

- [1] RANNACHER R. Incompressible Viscous Flow // Encyclopedia of Computational Mechanics. — 2011. — Vol. 3. Fluids, Ch. 6.  
[2] PIRONNEAU O. On the Transport-Diffusion Algorithm and Its Applications to the Navier-Stokes Equations // Numerische Mathematik — 1982. — Vol. 38, P. 309–332.  
[3] BREZZI F., FORTIN M. Mixed and Hybrid Finite Element Methods / N.Y.: Springer-Verlag, 1991.

**1.24. Денисов И.А. Метод дополнительных частиц в задачах многоуровневого моделирования**

В задачах расчета надмолекулярной динамики существует проблема аналитического описания многоуровневых систем для построения адекватных уравнений движения. Достижения в этой области связаны с развитием грубозернистого молекулярного моделирования [1, 2] и методов мезомеханики [3].

В работе предложен оригинальный подход к описанию многоуровневой коллективной динамики, а также теоретический каркас для получения уравнений движения многоуровневых систем в том числе — активных структурных преобразований, изменения числа связей объектов, самоорганизации.

Основная особенность заключается в использовании абстракции объекта для описания образования и разрыва связей. Сформулировано многоуровневое уравнение Ланжевена с разрывной правой частью для переменного числа объектов, включающее условия их порождения и уничтожения  $\mathcal{T}$ :

$$m_j^i \frac{d^2 q_j^i}{dt^2} = \sum_{k \neq i} F_j^L(q_j^i, q_j^k) + \sum_{k \notin D_j^i} F_j^{L+1}(q_j^i, q_{j+1}^k) \mathcal{T}_{j+1}^k + \sum_{k \notin P_j^i} F_j^{L-1}(q_j^i, q_{j-1}^k) \mathcal{T}_{j-1}^k + \sum_{k \in P_j^i} F_j^P(q_j^i, q_{j-1}^k) \mathcal{T}_{j-1}^k + \sum_{k \in D_j^i} F_j^D(q_j^i, q_{j+1}^k) \mathcal{T}_{j+1}^k - \gamma_j^i q_j^i + \eta_j^i(t),$$

где  $i$  — номер частицы;  $j$  — номер уровня;  $D$  и  $P$  — множества дочерних и родительских объектов.

Используя компонентно-ориентированный подход и среду разработки BlackBox Component Builder [4], создано приложение для численного решения таких уравнений, исследован набор его частных случаев. Показана выразительность данного подхода при решении задач многоуровневого моделирования.

**Список литературы**

- [1] АРКНПОВ А., FREDDOLINO P.L., SCHULTEN K. Stability and Dynamics of Virus Capsids Described by Coarse-Grained Modeling // Structure. — 2006. — Vol. 14, No 12, P. 1767–1777.  
[2] WASSENAAR T.A. ET AL. Going Backward: A Flexible Geometric Approach to Reverse Transformation from Coarse Grained to Atomistic Models // J. Chemical Theory and Computation. — 2014. — Vol. 10, No 2, P. 676–690.  
[3] ПСАХЬЕ С.Г. и др. Метод подвижных клеточных автоматов как инструмент физической мезомеханики материалов // Физическая мезомеханика. — 1998. — Т. 1, С. 95–108.  
[4] WARFORD J.S. Computing Fundamentals: The Theory and Practice of Software Design with BlackBox Component Builder / Springer Science & Business Media, 2013.

**1.25. Деревцов Е.Ю., Мальцева С.В., Светов И.Е., Султанов М.А. О задаче идентификации множества точек разрыва функции по известному преобразованию Радона**

Проблема восстановления разрывов функции по ее известному преобразованию Радона как самостоятельная задача была поставлена сравнительно недавно, а известный алгоритм восстановления разрывов был предложен в работе Е.И. Вайнберга с соавторами в 1985 г. [1]. Суть алгоритма состояла в двойном дифференцировании по одной из переменных томографических данных (преобразования Радона) с последующим использованием оператора обратной проекции. В конце 90-х годов Д.С. Аниконовым был предложен иной подход [2] к решению задачи восстановления разрывов функции по ее известным лучевым преобразованиям, основанный на теории многомерных сингулярных интегралов. Применяя к преобразованию Радона оператор обратной проекции, получаем сингулярный интеграл (с искомой разрывной функцией под интегралом) со слабой особенностью. Дифференцирование полученного выражения по пространственным переменным приводит тогда к его логарифмическому возрастанию при стремлении точки к линии разрыва. В частности, можно использовать оператор  $|\nabla(\cdot)|$ . Вообще говоря, под термином «восстановление разрывов» логично подразумевать несколько задач. Первая задача состоит в визуализации разрывов, и именно эта задача исследуется в подавляющем большинстве работ (в том числе [1, 2]). Вторая задача заключается в идентификации разрывов, т.е. в математическом описании множества точек разрыва функции. Третья задача состоит в определении величины скачка.

В работе предлагается алгоритм численного решения второй задачи, позволяющий математически описать множество точек разрыва функции.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-01-31491-мол\_a) и Минобрнауки Республики Казахстан (грант № 0115РК00681).*

**Список литературы**

- [1] VAINBERG E.I., KAZAK I.A., FAINGOIZ M.L. X-ray computerized back projection tomography with filtration by double differentiation. Procedure and information features // Soviet J. Nondest. Test. — 1985. — Vol. 21, P. 106–113.
- [2] Аниконов Д.С. Использование особенностей решения уравнения переноса в рентгеновской томографии // Доклады РАН. — 1994. — Т. 335, № 6, С. 702–704.

**1.26. Добролюбова Д. Вычисление эффективных тензорных характеристик образцов с микровключениями в частотной области**

В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям электромагнитных характеристик

композитных материалов с микровключениями, поскольку множество современных приложений композитов предполагают их взаимодействие с электромагнитным полем. Среда с микровключениями в частотной области может быть описана с помощью своих эффективных электрофизических характеристик, в том случае, если включения и расстояния между ними намного меньше, чем длина волны в данной среде [1].

В работе рассматривается трехмерное гармоническое электромагнитное поле в образцах с мелкими включениями, обладающими отличными от скелета электрофизическими характеристиками. Алгоритм вычисления эффективных характеристик сред с мелкими включениями как комплекснозначных тензоров второго ранга [2] реализован на основе векторного метода конечных элементов (ВМКЭ) [3].

Выполнена серия численных экспериментов по вычислению эффективных тензоров образцов с мелкими включениями для различных раскладок, и объемных долей включений, а также для различных электрофизических свойств материалов, на частотах от 100 Гц до 1 ГГц.

*Научный руководитель — д.т.н. Шурина Э.П.*

**Список литературы**

- [1] BANERJEE B. An Introduction to Metamaterials and Waves in Composites / CRC Press, 2011. — 378 p.
- [2] SURINA E.P., ЕРОВ M.I., SHABEL N.V., MIKHAYLOVA E.I. The calculation of the Effective Tensor Coefficient of the Medium for the Objects with Microinclusions // Engineering, 2014. — P. 101–112
- [3] NEDELEC J. C. A New Family of Mixed Finite Elements in  $\mathbb{R}^3$  // Numer. Math. — 1986. — P. 57–81.

**1.27. Долгая А.А. Применение теории Марковских процессов в моделировании пространственно-временных закономерностей геодинамического процесса**

Авторами на протяжении ряда лет исследуются временные, пространственно-временные и энергетические закономерности геодинамического процесса через призму сейсмической и вулканической активности в пределах тектонически активных поясов планеты.

Для изучения пространственно-временных закономерностей распределения очагов землетрясений и извержений вулканов предложено рассматривать совокупности событий как случайные блуждания [1], порождаемые суммами взаимно независимых одинаково распределённых случайных величин или цепями Маркова [2].

На возможность такого подхода указывают следующие данные. Во-первых, учитывая большой территориальный и временной масштаб рассматриваемых процессов (совокупностей событий), и большие

значения магнитуд (энергий), можно принять тезис об отсутствии последействия между ближайшими событиями каталога. Во-вторых, события распределены в пределах всего земного шара, тем не менее количество возможных мест в пределах активных поясов планеты, в которых, в основном, располагаются очаги землетрясений и действующие вулканы, хотя и велико, но конечно. В-третьих, временные интервалы между событиями подчиняются законам распределения случайных величин (Пуассона, Парето, Вейбулла и др.) [3].

Подавляющее большинство очагов сильных землетрясений и извержений вулканов распределено вдоль длинных узких поясов, окаймляющих планету. Это позволяет при исследовании закономерностей распределения событий перейти от модели трехмерных случайных блужданий (в осях географические широта и долгота и время) к двумерному представлению (в осях время и расстояние вдоль осевой линии). Для изучения пространственно-временных распределений очагов землетрясений и извергавшихся вулканов в рамках предложенного «двухмерного» подхода был разработан и программно реализован вычислительный метод исследования миграции сейсмической и вулканической активности (ИМСиВА) [4].

С помощью разработанной информационно-вычислительной системы в рамках модели были получены новые данные о закономерностях геодинамического процесса, в том числе было показано существование геодинамического параметра  $p$  [3], чувствительного к геодинамической обстановке в регионе, который может быть проинтерпретирован как векторная сохраняющаяся величина, физическим смыслом которой является момент импульса.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Викулин А.В.*

#### Список литературы

- [1] Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы / М: Сов. радио, 1977. — 488 с.
- [2] Математический энциклопедический словарь / Гл. ред. Ю.В. Прохоров. / М.: Сов. энциклопедия, 1988. — 847 с.
- [3] Долгая А.А., Викулин А.В., Герус А.И. Моделирование пространственных, временных и энергетических закономерностей геодинамической (сейсмической и вулканической) активности // Матер. конф. «Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска». В 2 т. Владивосток: Дальнаука, 2015. — Т. 2, С. 65–69.
- [4] Долгая А.А., Викулин А.В., Герус А.И. Моделирование пространственно-временных закономерностей геодинамического процесса методом ИМСиВА // Тез. докл. XVIII ежегодной науч. конф., посвященной Дню Вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский, 2015. — С. 135–139.

#### 1.28. Дундукова К.В. Об использовании геометрической параметризации при решении задач 3D-инверсии электромагнитных данных

До настоящего времени 3D-инверсия при интерпретации данных геоэлектроразведки считалась довольно затратной и неприменимой на практике, поэтому 1D-инверсия применяется на практике вплоть до настоящего времени. Результаты 1D-инверсий очень часто приводят к некорректным результатам. Существующие методы 3D-инверсий с использованием ячеистых структур также имеют ряд недостатков. Альтернативой являются методы с другими способами параметризации обратной задачи.

При решении обратной задачи минимизируется функционал (1) [1] – [3].

$$J_{\alpha}(u) = \sum_{i=1}^N (\omega_i \delta \varepsilon(u))^2 + \sum_{j=1}^M \alpha_j (u_j - \bar{u}_j)^2, \quad (1)$$

где  $\delta \varepsilon(u) = \varepsilon^* - \varepsilon(u)$ ,  $\varepsilon^*$  — значения (точные) поля в  $N$  приемниках,  $\varepsilon(u)$  — данные в  $N$  точках, полученные при решении прямой задачи с некоторыми «неточными» параметрами среды  $u = (u_1, \dots, u_M)$ ,  $\omega_i$  — веса,  $\alpha_j$  — параметры регуляризации,  $\bar{u}$  — вектор фиксированных параметров, в окрестности которых ищем параметры задачи.

В качестве параметров обратной задачи мы рассматриваем координаты границ объекта и значение удельной электрической проводимости.

Данный способ параметризации сокращает количество параметров обратной задачи, по сравнению с методами, использующими ячеистые структуры. В результате этого решение обратной задачи становится более устойчивым, а также сокращаются вычислительные затраты.

*Научный руководитель — д.т.н Соловейчик Ю.Г.*

#### Список литературы

- [1] Персова М. Г., Симон Е. И., Соловейчик Ю. Г. Алгоритмы 3D-инверсии данных зондирований становлением поля с использованием борновских приближений // Научный вестник НГТУ. — 2013, — №2(51), С. 62–72.
- [2] Жданов М. С. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике. / М.: Научный мир, 2007. — 712 с.
- [3] Персова М. Г., Соловейчик Ю. Г., Вагин Д. В. О подходе к выполнению 3D-инверсий данных зондирований нестационарным электромагнитным полем на основе конечноэлементного моделирования // Научный вестник НГТУ. — 2011. — №2(43), С. 97–106.

#### 1.29. Дьякова О.А., Борзенко Е.И. Исследование явления проскальзывания на твердой стенке в задаче о течении вязкой жидкости в Т-образном канале

При математическом моделировании задач о течении вязкой жидкости на твердой стенке

традиционно используется условие прилипания. Однако существующие на сегодня экспериментальные и теоретические данные показывают нарушение этого условия, в результате чего на твердой стенке реализуется условие проскальзывания.

В данной работе исследуется течение ньютоновской несжимаемой жидкости в Т-образном плоском канале. Математическая постановка задачи включает в себя уравнения Навье-Стокса и неразрывности, записанные в безразмерном виде. Движение жидкости обеспечивается заданием однородных профилей давления на границах канала. На твердых стенках наряду с условием прилипания используется условие проскальзывания.

Задача решается численно с помощью конечно-разностного метода, основанного на использовании полунейвного алгоритма SIMPLE.

В результате проведенных расчетов получены картины установившегося течения с образованием зон циркуляционного движения. Исследовано распределение кинематических и динамических характеристик, а также размеров циркуляционных зон в широком диапазоне определяющих параметров.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-08-2256).*

**1.30. Ершов А.Е., Герасимов В.С., Рассказов И.Л. Изменение трансмиссионных свойств оптического плазмонного нановолновода в результате нагрева частиц**

В последнее время особое внимание исследователей уделяется созданию систем, позволяющих передавать модулированное пространственно-локализованное оптическое излучение с помощью цепочек из наночастиц с плазмонным резонансом. Это, прежде всего, объясняется возможностью создания наноразмерных оптических логических элементов. Такие элементы, работающие на масштабах значительно меньших длины волны лазерного излучения на оптических частотах открывают перспективы создания принципиально новых типов высокопроизводительных вычислительных устройств для использования в различных прикладных областях, включая ракетно-космическую отрасль.

В работах [1], [2] исследуются трансмиссионные свойства таких цепочек, представляющих собой оптические плазмонные волноводы (ОПВ), влияние на эти свойства различных факторов, таких как дефектность структуры волновода, материал и форма частиц, межчастичное расстояние и т.д. В работе [3] показано, что при взаимодействии плазмонной наночастицы с внешним оптическим излучением происходит ее нагрев, что в свою очередь приводит к значительному ухудшению резонансных свойств. В настоящее время данные о влиянии нагрева наночастиц на трансмиссионные свойства нановолноводов в литературе отсутствуют.

Для определения влияния нагрева частиц на трансмиссионные свойства нановолноводов была разработана комплексная модель, учитывающая оптические взаимодействия в системе при возбуждении плазмонного резонанса на первой частице цепочки и распространении вдоль нее поверхностного плазмон-поляритона (ППП) с использованием метода связанных диполей

В работе показано, что нагрев наночастиц волновода существенным образом влияет на его трансмиссионные свойства. Обращено внимание на важность учета влияния фактора плавления частиц оптического плазмонного волновода (ОПВ) на его трансмиссионные характеристики. Полученные результаты показывают необходимость внесения в конструкцию ОПВ элементов дополнительного охлаждения, сопряженных с технологической подложкой.

**Список литературы**

- [1] RASSKAZOV I. L., KARPOV S. V., MARKEL V. A. Nondecaying surface plasmon polaritons in linear chains of silver nanospheroids // Optics Letters. — 2013. — Vol. 38, No 22, P. 4743–4746.
- [2] RASSKAZOV I. L., KARPOV S. V., MARKEL V. A. Waveguiding properties of short linear chains of nonspherical metal nanoparticles // Journal of the Optical Society of America B. — 2014. — Vol. 31, No 12, P. 2981–2989
- [3] ERSHOV A. E., GAVRILYUK A. P., KARPOV S. V., SEMINA P. N. Optodynamic phenomena in aggregates of polydisperse plasmonic nanoparticles // Appl. Phys. B. — 2014. — V. 115, No 8, P. 547–560.

**1.31. Есипов Д.В. Обзор методов решения краевой задачи для уравнения Лапласа**

При решении многих задач математического моделирования возникает необходимость решать краевую задачу для уравнения Лапласа. Для этого специалистами за последние полтора века разработано большое количество различных численных методов. Ясно, что в каждом конкретном случае выбор метода решения зависит от многих факторов, характеризующихся самой задачей.

В представленной работе приводится обзор широкого круга методов решения этих уравнений, начиная с метода конечных разностей и заканчивая методом случайных блужданий. Все эти методы можно разделить на три неравные группы: детерминированные методы, стохастические методы и методы на основе метода частиц. Первая группа методов является наиболее многочисленной и характеризуется тем, что в результате аппроксимации значений в области или на ее границе получается система линейных алгебраических уравнений специального вида. Ее матрица, как правило, разрежена, симметрична и положительно определена. Во второй группе решение отыскивается только в конкретных узлах области и оно тем точнее, чем большее количество случайных блужданий рассчитано. Третью группу

методов логично было бы отнести к классу имитационных, так как исходная задача подменяется на другую, решение которой тем ближе к решению исходной, чем большее количество частиц используется.

Подробно рассматриваются особенности применения методов, их программная реализация, скорость сходимости и вычислительная эффективность. В ходе обзора выработаны рекомендации по применению рассматриваемых численных методов.

### 1.32. Ефимов А.В., Мамойленко С.Н., Перышкова Е.Н., Подберёзный А.А. Обработка масштабируемых задач на высокопроизводительных вычислительных системах

Рассмотрена задача организации функционирования высокопроизводительных вычислительных систем (ВС) при решении масштабируемых задач. Для таких задач перед выполнением на подсистеме ВС можно выбрать количество процессорных ядер из заданных пользователем вариантов. Свойством масштабируемости обладают до 98 % задач [1], решаемых на высокопроизводительных ВС.

Авторами работы предложены способ описания масштабируемых задач для системы управления ресурсами (СУР) и несколько эвристических алгоритмов для планирования решения таких задач на ВС. Предложения реализованы в СУР PBS TORQUE [2] функционирующей с планировщиком pbs\_sched или MAUI [3].

На ресурсах мультикластерной ВС [4] проведено экспериментальное исследование для определения эффективности решения масштабируемых задач и сравнения предложенных алгоритмов. Масштабируемые задачи генерировались на основе модели рабочей загрузки, предложенной в работе [1]. Формирование паспортов задач, постановка задач в очередь СУР, а так же сбор информации о состоянии очередей СУР и ресурсов ВС, реализовано с помощью специального скрипта на язык ruby. Эффективность алгоритмов оценивалась по следующим показателям: время выполнения всех задач набора, средний размер очереди, среднее время ожидания задач в очереди и загрузка ресурсов ВС. В качестве одного из заключений можно выделить то, что использование свойства масштабируемости задач в некоторых случаях позволяет уменьшить среднее время ожидания задач в очереди на 16%.

*Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект МД-2620-2014.9) и РФФИ (гранты № 15-07-00048, 15-07-00653).*

### Список литературы

[1] CIRNE W., BERMAN F. A model for moldable supercomputer jobs // 15th Intl. Parallel & Distributed Processing Symp. — 2001.

[2] Torque Resource Manager. Адрес доступа: <http://www.adaptivecomputing.com/products/opensource/torque/> (дата обращения 01.09.2015).

[3] Maui Cluster Scheduler. Адрес доступа: <http://www.adaptivecomputing.com/products/opensource/maui/> (дата обращения 01.09.2015).

[4] Ресурсы ВС центра параллельных вычислительных технологий СибГУТИ и лаборатории вычислительных систем ИФП СО РАН. Адрес доступа: <http://cpct.sibsutis.ru/index.php/Main/Resources> (дата обращения 01.09.2015).

### 1.33. Ефимова М.В. О решении двумерной задачи конвекции с переменным градиентом температуры

Изучение течений, вызванных наличием неоднородности температурных условий вдоль границ, представляет интерес не только с познавательной точки зрения, но и имеет ряд практических приложений. Так конвективные процессы оказывают влияние на тепловые режимы хранения нефтепродуктов, процессы химической технологии, роста кристаллов, разделения изотопов и т.п.

В настоящей работе на основе уравнений Навье—Стокса в приближения Обербека—Буссинеска изучено совместное движение бинарной смеси и вязкой теплопроводной жидкости с общей поверхностью раздела. На твердых непроницаемых стенках горизонтального канала выполняются условия прилипания, задано распределение температуры по параболическому закону и отсутствие потока вещества. На границе раздела выполняются кинематическое и динамическое условия, условия непрерывности скорости, температуры и тепловых потоков. Кроме этого, предполагается отсутствие потока вещества через поверхность раздела [1].

Решение поставленной задачи ищется в специальном виде

$$\begin{aligned}u_j &= U_j(y, t)x + W_j(y, t), & v_j &= V_j(y, t); \\ \theta_j &= A_j(y, t)x^2 + B_j(y, t), & c_1 &= H_1(y, t)x^2 + E_1(y, t); \\ p_j &= P(x, y, t),\end{aligned}$$

которому можно дать следующую физическую интерпретацию. Достаточно длинный слой системы жидкостей в окрестности точки  $x = 0$  нагревается, причем внешняя температура имеет в этой точке минимум или максимум. Система приводится в движение с параболическим распределением температуры и концентрации в слоях. В зависимости от знака  $A_j(y, t)$ ,  $H_1(y, t)$  температура и концентрация в слоях будут принимать максимальное или минимальное значение в точке  $x = 0$ .

Получены точные представления функций скорости, температуры и концентрации в стационарном случае.

Изучены особенности конвективных течений в зависимости от величин продольных градиентов

температур на стенках и толщин слоев сред, представлены примеры профилей скорости и температуры для системы «бинарная смесь – вязкая жидкость» в зависимости от различных параметров.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (заявка № 14-01-00067).*

#### Список литературы

[1] АНДРЕЕВ В. К., ЗАХВАТАЕВ В. Е., РЯБИЦКИЙ Е. А. Термокапиллярная неустойчивость. / Новосибирск: Наука, 2000. — 280 с.

#### 1.34. Ефремов А.А., Вяткин А.В., Кареева Е.Д. Сравнительный анализ и параллельные реализации двух модифицированных полу-лагранжевых методов решения уравнения переноса с использованием технологий NVIDIA CUDA и OPENMP

Работа посвящена анализу параллельных реализаций методов решения уравнения неразрывности модифицированным полулагранжевым методом с использованием технологии NVIDIA CUDA и OpenMP. В основу алгоритмов положены метод решения уравнения неразрывности [1] и метод с измененным алгоритмом интегрирования по пространству [2].

В качестве тестовой задачи рассмотрено модельное уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(u\rho)}{\partial x} + \frac{\partial(v\rho)}{\partial y} = f(t, x, y). \quad (1)$$

в области  $(t, x, y) \in [0, T] \times [0, 1] \times [0, 1]$ , где  $\rho(t, x, y)$  — неизвестная функция. Здесь  $\mathbf{U} = (u(t, x, y), v(t, x, y))$  — вектор скорости, удовлетворяющий условиям прилипания

$$\mathbf{U}(t, x, y)|_{y=0} = \mathbf{U}(t, x, y)|_{y=1} = 0 \quad \forall t \in [0, T]. \quad (2)$$

Выполнены условия

$$u(t, x, y)|_{y=0} \geq 0, \quad u(t, x, y)|_{y=1} \geq 0 \quad \forall t \in [0, T]. \quad (3)$$

Здесь  $f(t, x, y)$  — известная достаточно гладкая  $[0, T] \times [0, 1] \times [0, 1]$  функция. Подробное описание задачи приведено в [1].

Исследована эффективность параллельной реализации алгоритма с измененным шагом интегрирования по пространству относительно версии алгоритма без использования преобразований интегралов. Реализовано две параллельные версии алгоритма с использованием технологии NVIDIA CUDA и OpenMP.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 14-01-00296 и № 14-01-31203).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шайдунов В.В.*

#### Список литературы

[1] EFREMOV A. A., KAREEVA E. D., SHAYDUROV V. V., VYATKIN A. V. A Computational Realization of a

Semi-Lagrangian Method for Solving the Advection Equation // Journal of Applied Mathematics. — 2014. — Vol. 2014, P. 12.

[2] SHAYDUROV V.V., VYATKIN A.A. The Semi-Lagrangian Algorithm Based on an Integral Transformation // International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics. AIP Conference Proceedings. — 2015. — Vol. 1648.

#### 1.35. Жигарев В.А., Минаков А.В. Численное исследование способов интенсификации гидродинамических процессов в химических реакторах

Интенсификация процессов в аппаратах и разработка высокоэффективного реакторного оборудования для снижения себестоимости гидрометаллургического передела является основной задачей по оптимизации производства драгоценных металлов. Одним из вариантов оптимизации является улучшение геометрии мешалок реактора [1].

Проведен обзор и анализ существующих типов мешалок. В результате обзора и анализа для расчетных исследований выбраны несколько концепций для повышения эффективности перемешивающих устройств. На их основе разработаны геометрические модели мешалок. Всего рассмотрено более 10 различных вариантов конструкции.

Численный расчет процесса перемешивания реализован при помощи гидродинамического подхода, основанного на решении осредненных уравнений Навье—Стокса с использованием модели Эйлера для гранулированных сред. Расчеты проводились с использованием 3D модели реактора. Рассматривались несколько типов мешалок с различной геометрией.

Сравнение результатов расчетов новых типов мешалок с результатами расчета мешалки стандартной геометрии проводилось по нескольким параметрам таким как:  $M$  — момент на валу,  $v$  — средняя скорость в объеме реактора,  $k$  — средняя кинетическая энергия турбулентных пульсаций,  $V_f$  — среднее по объему реактора значение объемной доли хлора,  $S$  — удельная площадь поверхности хлора.

При помощи методов численного моделирования проведено исследование эффективности предложенных конструкций. Согласно выбранным критериям лучшей по перемешивающей способности следует считать концепцию, заложенную в мешалку ВТ-6 (в 1,8 раза эффективнее базового варианта) [2].

#### Список литературы

[1] ШТЕРБАЧЕК З. П., ТАУСК П. Перемешивание в химической промышленности. / Изд-во Химической литературы, 1963.

[2] ВАККЕР А. The Online CFM Book. Адрес доступа: <http://www.bakker.org/cfm> (дата обращения 14.07.2015)

**1.36. Зимин А.И. Численное моделирование распространения волн на поверхности вязкой несжимаемой жидкости**

Исследование поверхностных волн является фундаментальной проблемой гидродинамики и природной среды. Оно необходимо для решения ряда прикладных задач, связанных с проектированием, эксплуатацией и обеспечением безопасности морских судов и береговых сооружений. Несмотря на достаточно большое количество исследований, задача численного моделирования таких волн (особенно имеющих нелинейный характер) остается актуальной.

В данной работе для моделирования процесса распространения поверхностных волн рассматривается модель движения двухкомпонентной несжимаемой вязкой жидкости с переменными вязкостью и плотностью. Модель состоит из нестационарной системы уравнений Навье—Стокса (с учетом переменных вязкости и плотности)

$$\begin{cases} \frac{\partial v_i}{\partial t} + \sum_j v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = F_i, & i = 1, 2, 3, \\ \sum_{j=1}^3 \frac{\partial v_j}{\partial x_j} = 0, \end{cases}$$

где

$$F_i = \frac{1}{\rho} \left( -v_i q(\rho) - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( 2\mu \frac{\partial v_i}{\partial x_i} \right) + \sum_{j \neq i} \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \right) \right) + f_i,$$

уравнения конвекции—диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \sum_i v_i \frac{\partial C}{\partial x_i} = D \Delta C,$$

и уравнений для определения вязкости и плотности, зависящими от концентрации компонент

$$\begin{cases} \mu = C(\mu_2 - \mu_1) + \mu_1, \\ \rho = C(\rho_2 - \rho_1) + \rho_1. \end{cases}$$

Таким образом, мы моделируем двухфазную среду, где одна из компонент представляет собой более плотную и вязкую жидкую фазу, а вторая — газообразную.

Полученная задача численно решается методом сеток на разнесенной сетке. Система уравнений Навье—Стокса решается при помощи схемы расщепления по физическим факторам. Для решения уравнения конвекции-диффузии используется схема предиктор—корректор с аппроксимацией конвективных слагаемых против потока.

Такой подход позволяет при помощи однородного алгоритма моделировать волнообразования на поверхности тяжелой жидкости без выделения особенностей движения границы раздела. Представлены результаты расчета двухмерных и трехмерных тестовых задач.

**1.37. Исаев И.Л., Гаврилюк А.П. Ультрахолодная плазма в однородном магнитном поле**

Первые попытки по созданию ультрахолодной сильнонеидеальной электрон-ионной плазмы (УП) были предприняты начиная с 1999 г. [1], [2]. Но вследствие ее разлета и протекающих в ней элементарных процессов невозможно было наблюдать ее кристаллизацию. Для этого было необходимо использование методов лазерного охлаждения ионов.

Использование метода лазерного охлаждения позволяет создавать электрон-ионную плазму (в отсутствие ее разлета) с сильнонеидеальной ионной подсистемой, формирующуюся при этом в упорядоченную структуру.

Одной из главных проблем исследования такого интересного и экзотического объекта как УП ( $T \leq 100\text{K}$ ) и фазовых переходов в ней является долговременное ( $\geq 1$  мс) ее удержание, чтобы успевало происходить охлаждение ионов и формирование упорядоченной структуры.

Одним из возможных способов стабилизации такой плазмы может являться применение однородного магнитного поля. Имеющиеся немногочисленные экспериментальные работы по разлету ультрахолодной плазмы носят противоречивый характер.

Для решения задачи использовались методы молекулярной и броуновской динамики. Основной трудностью при их реализации является большая разница скоростей электронов и ионов, а также присутствие дальнедействующих кулоновских сил.

Исследовалось поведение квазидвухмерной (тонкий цилиндрический слой) УП в магнитном поле  $B$ . Ограничение рассмотрения только тонкого слоя позволяет ускорить расчет и получать более наглядные результаты.

Установлено, что с увеличением величины магнитного поля скорость расширения плазмы уменьшается, но всегда эта скорость остается больше скорости разлета ненейтральной плазмы (одни ионы или электроны). Кроме того, в условиях, когда ларморовские радиусы меньше межчастичного расстояния, осуществляется выход из начального объема связанных электрон-ионных пар. Объясняется это тем, что электрон, дрейфующий вокруг иона (дрейф ведущего центра), значительно изменяет траекторию иона. Таким образом, расширение ультрахолодной плазмы в магнитном поле происходит быстрее, чем ожидалось.

**Список литературы**

- [1] KILLIAN T. C., KULIN S., BERGESON S. D. ET AL. Creation of an Ultracold Neutral Plasma // Phys. Rev. Lett. — 1999. — Vol. 83, P. 4776.
- [2] KULIN S., KILLIAN T. C., BERGESON S. D. ET AL. Plasma Oscillations and Expansion of an Ultracold Neutral Plasma // Phys. Rev. Lett. — 2000. — Vol. 85, P. 318.

**1.38. Казаков И.В., Мацулев А.Н. Методики расчета прилива в земной коре**

Наиболее наглядным проявлением влияния внешнего по отношению к Земле физического фактора – притяжения Луны являются гравитационные приливы: морские и «твердые» [1, 2]. С помощью теоретического расчета по предлагаемой методике можно видеть, что твердые приливы в наших широтах приводят к сдвигам на поверхности Земли порядка 2-х десятков сантиметров [1, 2].

В работе показано характерное движение точки поверхности Земли в г. Красноярске, которое рассчитано с помощью программы *solid.exe* [3]. Проводятся также непосредственные измерения твердых приливов с помощью спутниковых приемников, имеется программа для обработки таких данных.

Актуальность исследований влияния Луны на землетрясения очевидна. Можно отметить работы Салтыкова и др. по изучению особенностей приливных землетрясений на Камчатке. Японские сейсмологи занимаются подобными исследованиями. Отметим исследования американцев и французов, а также исследования в Китае.

В тоже время в работах В.Г. Сибгатулина [4] отмечается, что для обеспечения геодинамической безопасности и оценки геодинамических рисков особо ответственных объектов необходимо дополнить существующие сети мониторинга системой контроля гравитационных приливов. Гравитационные приливы определяют триггерные механизмы воздействия для подавляющего большинства катастрофических землетрясений на Земном шаре.

**Список литературы**

- [1] Мельхиор П. Земные приливы. /М.: Мир, 1968.
- [2] Уильямс Дж. Е. Приливные ритмы: ключ к истории вращения Земли и эволюции лунной орбиты // J. Phys. Earth. — 1990.
- [3] MILBERT D. Solid Earth tide. Адрес доступа: <http://home.comcast.net/~dmilbert/softs/solid.htm>. (дата обращения 10.12.2014).
- [4] SIBGATULIN V. G., PERETOKIN S. A., KAVANOV A. A. Resonances of gravitational tides and their effect on geological environment // Earth science frontiers. — 2014. Vol. 21, No 4, P. 303–310.

**1.39. Ковтуненко П.В. Моделирование волновых возмущений в тонком слое вязкой жидкости**

Движение тонкого слоя вязкой жидкости со свободной границей на наклонной плоскости в поле силы тяжести в приближении пограничного слоя описывается следующей системой уравнений [1]:

$$u_t + uu_x + vu_y + bh_x = a + \nu u_{yy}, \quad v = - \int_0^y u_x dy,$$

$$h_t + \left( \int_0^h u dy \right)_x = 0, \quad u|_{y=0} = 0, \quad u_y|_{y=h} = 0.$$

Для исследования данной системы используется теория обобщенной гиперболичности, развитая В. М. Тешуковым [2]. С помощью данной теории показано, что уравнения движения тонкого слоя вязкой жидкости допускают решения с разрывами производных на поверхностях, являющихся обобщенными характеристиками.

Для проведения численного моделирования распространения нелинейных возмущений исходная система приводится к системе балансовых соотношений, многослойная аппроксимация которой позволяет рассматривать исходную модель в виде конечномерной системы дифференциальных законов сохранения. Данная система позволяет провести расчеты с использованием центральной схема Насьяху—Тэдмора типа предиктор–корректор. Проводится сравнение численных расчетов, полученных при счете по многослойной модели и по модифицированной модели Шкадова. В случае формирования сильного разрыва результаты расчета по этим моделям могут заметно отличаться. Если в процессе эволюции течения разрыв не возникает, то результаты расчета по указанным моделям близки.

Также в рамках данного подхода, рассматривается случай, в котором вязкость не является постоянной величиной. Для жидкости, стратифицированной по вязкости выполняется аналогичное моделирование. В рамках многослойной аппроксимации исходной интегродифференциальной модели проводятся численные расчеты, показывающие, что в рассматриваемом диапазоне параметров влияние стратификации является незначительным при развитии течения. Исследуется эволюция колонны более вязкой жидкости в менее вязкой при прохождении волновых возмущений.

**Список литературы**

- [1] Ковтуненко П. В. Распространение возмущений в тонком слое жидкости стратифицированной по вязкости // Сиб. жур. чистой и прикладной математики (Вестник НГУ). — 2015. — Т. 2.
- [2] Тешуков В.М. О гиперболичности уравнений длинных волн // Докл. АН СССР. — 1985. — Т. 284, № 3, С. 555–559.
- [3] CHESNOKOV A. A., KOVTUNENKO P. V. Weak Discontinuities in Solutions of Long-Wave Equations for Viscous Flow // Stud. Appl. Math. — 2014. — Vol. 132.

**1.40. Козлова С.В. О разделении многокомпонентных смесей под действием термодиффузии в цилиндрической колонне.**

Термодиффузия – это явление переноса массы компонентов смеси под действием градиента температуры. Данное явление играет важную роль в ряде природных и технологических процессов [1, 2]. Для описания и предсказания тепломассопереноса под действием термодиффузии необходимо знать коэффициенты переноса. Одним из экспериментальных

методов их измерения является термодиффузионная колонна (вертикальный слой между твердыми стенками, поддерживаемыми при различных температурах).

Теория плоской колонны для многокомпонентных смесей была разработана в [3, 4]. В данной работе проведено теоретическое исследование разделения многокомпонентной смеси в цилиндрической термодиффузионной колонне (вертикальный слой между коаксиальными цилиндрами с радиусами  $r_1$  и  $r_2$ ,  $r_2 > r_1$  и высотой  $2H$ ). Смесь движется в вертикальном направлении замкнутой колонны, движение в радиальном и азимутальном направлениях отсутствует. Предполагается, что плотность смеси линейно зависит от температуры и концентрации компонентов. На стенках заданы условия прилипания и равенства нулю потока массы, а также различные постоянные температуры.

Построено точное решение для полей скорости, температуры и концентрации. Исследование выполнено в цилиндрических координатах с целью учета влияния кривизны и отношения  $r_1/r_2$  на процесс разделения. Решение имеет различный вид при различных значениях управляющих параметров. Показано, что при  $r_1/r_2 \rightarrow 1$  результаты сводятся к случаю плоской колонны.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-01-31038).*

*Научный руководитель – д.ф.-м.н. Рыжков И. И.*

#### Список литературы

- [1] FIROOZABADI A. Thermodynamics of hydrocarbon reservoirs. / McGraw-Hill Professional, 1999.
- [2] Рабинович Г. Д. Разделение изотопов и других смесей термодиффузией. / М.: Атомиздат, 1981. — 144 с.
- [3] Рыжков И. И. Термодиффузия в смесях: уравнения, симметрии, решения и их устойчивость. / Новосибирск: Изд. СО РАН, 2013. — 200 с.
- [4] Ryznikov I. I. On thermal diffusion and convection in multicomponent mixtures with application to the thermogravitational column. // Physics of Fluids. — 2007. — Vol. 19, No. 027101.

#### 1.41. Коротченко М.А., Бурмистров А.В. Алгоритмы статистического моделирования для решения кинетического уравнения коагуляции с линейными коэффициентами

В данном докладе мы рассмотрим кинетическое уравнение Смолуховского, которое часто используется для описания процессов коагуляции в различных системах. В работе изучается уравнение с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими от двух параметров. Для численного решения этого уравнения (при заданных параметрах), а также для параметрического анализа полученных решений, моделируется эволюция многочастичной системы с помощью соответствующих цепей Маркова [1]. Построены алгоритмы статистического моде-

лирования для оценки линейных функционалов от решения рассматриваемого уравнения.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 13-01-00746, 14-01-00340, 14-01-31451), а также программы Ведущие научные школы (проект НШ-5111.2014.1).*

#### Список литературы

- [1] Бурмистров А. В., Коротченко М. А. Весовые алгоритмы метода Монте-Карло для оценки и параметрического анализа решения кинетического уравнения коагуляции // Сиб. журн. вычисл. математики. — 2014. — Т. 17, № 2, С. 125–138.

#### 1.42. Кудря Н.О., Курако М.А. Волны-убийцы: обработка данных наблюдений и оценка опасности

В работе изучаются зарегистрированные случаи возникновения катастрофических волновых явлений (аномально высоких волн) в морских акваториях, которые получили в научной литературе одно из названий как «волны-убийцы» [1]. Волны-убийцы рассматриваются как поверхностные волны в океане, которые обладают следующими основными признаками: одиночная волна или небольшая группа волн, состоящая из двух-трех волн, амплитуда которых значительно превосходит амплитуду остальных волн в данном районе; волна имеет большую крутизну; волна возникает внезапно; волна обладает достаточно большой энергией и импульсом. В отличие от цунами, возникающих в результате подводных землетрясений или подводных оползней и набирающих большую высоту лишь на мелководье, появление волн-убийц не связано с катастрофическими геофизическими событиями. В тоже время, достигая высоты 30-ти и более метров, эти волны несут реальную угрозу для морских судов (танкеров), нефтяных платформ и морских гидротехнических сооружений.

В работе рассматриваются основные методы анализа и подходы к оценке опасности для аномально высоких волн на примере акваторий Черного и Северного морей. Изучая данные наблюдений для исследуемой акватории Черного моря предлагается алгоритм кластеризации, который позволяет разбить на кластеры зарегистрированные случаи проявления волн-убийц, и тем самым обозначить конкретные участки акватории, в которых наиболее часто возникают волны убийцы. На основе обработки данных наблюдений о волнах-убийцах алгоритмами вейвлет-преобразования, получены вейвлет-спектры, дающие представления об энергетических процессах в момент достижения волной максимальной амплитуды. Численные эксперименты проведены на основе данных наблюдений для акваторий Черного и Северного морей. С помощью алгоритма быстрой нелинейной многопараметрической регрессии во временной области проведена аппроксимация числовых данных регистрации волны-убийц.

Этот подход позволяет более детально исследовать данные наблюдений за указанными катастрофическими волнами и их проявлениями, в частности, в акваториях Черного и Северного морей.

Оценку опасности от волн-убийц предлагается разделить на следующие задачи: долгосрочная оценка опасности, которая строится через применение функции повторяемости высот аномальных волн в определенном пункте наблюдения; краткосрочная оценка опасности, которая основывается на анализе изменения максимальный крутизны свободной поверхности в момент времени  $t$  и отношении наблюдаемых высот волн (критерий – отношение высот больше 3) в тот же момент времени для защищаемого участка морской акватории; оценка риска для волн-убийц, которая основывается на базовой формуле для оценки опасности от морских природных катастроф и включающая оценку ожидаемого ущерба от воздействия вероятной катастрофической волны. Задача оценки вероятного ущерба решается на основе результатов о статистических характеристиках воздействия волн-убийц за длительный период времени наблюдений. Одним из способов анализа таких данных может служить применение функции распределения Парето.

Таким образом, проведенные исследования позволяют более детально рассмотреть актуальные задачи генерации волн-убийц в изучаемых акваториях, а также разработать новые варианты решения задач их оперативного и долгосрочного прогнозирования с целью оценки степени опасности изучаемого катастрофического волнового явления.

*Научный руководитель — д.т.н. Симонов К.В.*

#### Список литературы

- [1] Куркин А. А. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. / Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2004. — 158 с.

**1.43. Кудрявцев И.В., Сильченко П.Н., Михнёв М.М. Аналитическое решение системы дифференциальных уравнений для элемента волноводного тракта при его изгибе**

В работе рассматриваются особенности чистого изгиба тонкостенных стержней прямоугольного поперечного сечения на примере конструкции прямого элемента волноводного тракта космических аппаратов [1]. Для этого аналитически решается, разработанная ранее авторами, система нелинейных дифференциальных уравнений [1] в частных производных для случая чистого изгиба.

С целью линеаризации системы вводится допущение о пренебрежении изгибной жесткости пластинок, составляющих поперечное сечение тонкостенных стержней, из их плоскости по сравнению с изгибной жесткостью пластинок в их плоскости [2]. Деформацией поперечного сечения пренебрегаем.

Полученное аналитическое решение сравнивается со значениями, полученными по другим методам:

1. расчет по формуле А. Навье;
2. расчет методом конечных элементов в Ansys с использованием 8-узловых оболочечных элементов типа SHELL281, имеющих квадратичную функцию формы;
3. расчет методом конечных элементов в Ansys с использованием 10-узловых твердотельных элементов типа SOLID98, имеющих квадратичную функцию формы.

Сравнение выражения для полученного аналитического решения системы [1] с формулой А.Навье показало, что они хорошо согласуются между собой и его можно считать частным случаем для стержней тонкостенного поперечного сечения.

Исследована сходимость результатов, рассчитываемых по предлагаемой методике максимальных напряжений, со значениями, получаемым по другим способам. Установлено, что максимальное отклонение значений, в зависимости от поперечных размеров тонкостенных стержней, составляет 0,5-1,5% и значительно снижается при увеличении размера поперечного сечения стержня.

#### Список литературы

- [1] Сильченко П.Н., Кудрявцев И.В., Михнёв М.М., Наговицин В.Н. Методика расчёта напряжённо-деформационного состояния волноводно-распределительных систем космических аппаратов // Журнал СФУ. Серия: Техника и технологии. — 2012. — № 2, С. 150–161.
- [2] Сильченко П.Н., Кудрявцев И.В., Михнёв М.М., Гоцелюк О.Б. Некоторые подходы к получению решения системы дифференциальных уравнений для элемента волноводного тракта космических аппаратов // Вестник НИЯУ МИФИ. — 2015. — Т. 4, № 1, С. 19–24.

**1.44. Курако М.А., Быков А.А., Кудря Н.О., Винников Е.В., Шеломенцев А.А., Кругляков А. Моделирование и анализ данных наблюдений Чилийских цунами (2010-2015)**

В работе предлагаются методические разработки, результаты расчетов и анализа данных наблюдений Чилийских цунами (2010, 2014, 2015). Моделирование цунами выполнялось на основе вычислительной технологии MOST [1] и нового вычислительного инструмента, разработанного С. Ю. Доброхотовым [2]. Для численного анализа расчетных и натурных данных использовались быстрые алгоритмы вейвлет- и шарлет-преобразования, а также быстрый алгоритм нелинейной многопараметрической регрессии для построения аппроксимационных функций из табличных данных [3, 4].

Выполнен ряд численных экспериментов по моделированию цунами в Тихом океане, в ходе которых исследовалось поведение волн цунами в зависимости

от изменчивости параметров источника цунами. Проведенные исследования Чилийских цунами, произошедших в 2010-2015 гг., в рамках разрабатываемой вычислительной методики показали новые возможности при моделировании цунами и анализе данных указанными вычислительными инструментами с целью повышения своевременности и надежности предупреждения об угрозах цунами, путем решения обратной задачи и оценок параметров источника цунами.

В частности, показаны возможности моделирования распространения цунами в режиме реального времени от предполагаемого источника до ближайших глубоководных гидрофизических станций. При этом сравнительный анализ расчетных и натурных мареограмм позволяет скорректировать местоположение и форму первоначального варианта источника цунами.

Таким образом, предлагаемый подход предполагает предварительную вычислительную процедуру быстрой коррекции параметров источника цунами с целью повышения точности и надежности оценки опасности цунами.

#### Список литературы

- [1] ТИТОВ V. V. Numerical modeling of long wave runup. Ph.D. thesis / University of Southern California. Los Angeles, California, 1997. — 141 p.
- [2] ДОВРОХОТОВ С. Ю., НАЗАЙКИНСКИЙ В. Е., ТИРОЦЦИ Б. Асимптотические решения двумерного модельного волнового уравнения с вырождающейся скоростью и локализованными начальными данными / Москва: МФТИ. Алгебра и анализ, 2010. — 230 с.
- [3] SIMONOV K. V., KURAKO M. A., CADENA L. Spectral decomposition and geometrical analysis of spatial data and images // Proc. of Forth China-Russian Conf. on Numerical Algebra with Applications. Rostov-on-Don, 2015. — P. 134–138.
- [4] КУРАКО М. А., СИМОНОВ К. В. Вейвлет-анализ данных гидрофизического мониторинга // Информатизация и связь. — 2013. — № 5, С. 82–84.

#### 1.45. Куранаков Д., Черный С.Г., Лапин В.Н., Есипов Д.В. Трехмерная модель распространения трещин

Разработана трехмерная модель распространения трещин, включающая подмодель напряженно-деформированного состояния (НДС) линейно-упругой среды с трещинами и подмодель криволинейного роста трещины.

Подзадача НДС сводится к граничному интегральному уравнению смещений (ГИУС), которое численно решается методом граничных элементов (МГЭ) [1]. Однако при наличии в теле нерегулярных границ – трещин – классический МГЭ не применим. Для решения таких задач применяется модификация МГЭ – дуальный МГЭ (ДМГЭ) [2]. Суть ДМГЭ заключается в конструировании дополнительного граничного интегрального уравнения напряжений

(ГИУН). ГИУН содержит интегралы более высокого порядка по сравнению с ГИУС и понимаются в смысле главного значения Адамара. Для эффективного вычисления интегралов Адамара в работе используется метод выделения сингулярности.

В качестве модели роста трещины используется критерий Пэриса-Эрдогана. Этот критерий дает соотношение между скоростью роста трещины и коэффициентом интенсивности напряжений (КИНом) моды I. Угол поворота трещины вычисляется из условия на КИН моды II. Для выполнения этого условия применены два численных метода. Первый метод сводится к явному вычислению угла по формуле Эрдогана-Си на текущем шаге приращения. Во втором методе условие подбирается итерационно на следующем шаге приращения. КИНЫ вычисляются с помощью интерполяционных формул для разрыва смещений вблизи фронта.

Решена задача распространения наклонной трещины и ее переориентация в направлении предпочтительного распространения. В плоском случае показана трансформация трещины произвольной формы в круглую. Показано взаимодействие двух параллельных трещин – их взаимное отталкивание.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 14-11-00234).

#### Список литературы

- [1] ALEKSEENKO O. P., ROTAPENKO D. I., CHERNY S. G., ESIPOV D. V., KURANAKOV D. S., LAPIN V. N. 3D Modeling of fracture initiation from perforated non-cemented wellbore // SPE J. — 2013. — Vol. 18, No. 3, P. 589–600.
- [2] PORTELA A., ALIABADI M. H., ROOKE D. P. The dual boundary element method: Effective implementation for crack problems // International Journal for Numerical Methods in Engineering. — 1992. — Vol. 33, No. 6, P. 1269–1287.

#### 1.46. Кутышцева А.Ю. Влияние формы проводящих включений на порог перколяции

В настоящее время широко применяются различные композитные материалы, состоящие из слабопроводящей матрицы и сильнопроводящих включений. Эффективные свойства таких сред резко (скачкообразно) изменяются при превышении некоторой (пороговой) концентрации неоднородностей, что обусловлено образованием непрерывного пути из сильнопроводящих включений. Данный процесс описывается теорией перколяции, предложенной в [1].

Большинство работ, посвященных теории перколяции, основаны на изучении квадратных решеток, ячейки которых соответствуют проводящим и непроводящим средам. На решетках изучается вероятность возникновения непрерывных путей по «проводящим» ячейкам, критическую концентрацию которых (необходимую для образования путей) называют порогом перколяции. В других работах в качестве модели выступает связный граф, в

котором наличие/отсутствие ребер между узлами (вершинами графа) означает наличие/отсутствие пути. Однако использование таких подходов при исследовании сложных сред приводит к необходимости значительного упрощения модели, поэтому в данной работе для определения пороговой концентрации включений выполняется численное моделирование распределения электрического потенциала в 3D образцах под действием постоянного электрического тока, что позволяет не только определить порог перколяции, но и найти эффективное удельное электрическое сопротивление.

Моделирование выполнено на разработанном программном комплексе на базе гетерогенного многомасштабного метода [2], основанного на представлении многомасштабного решения через линейную комбинацию неполиномиальных функций формы. При этом каждая неполиномиальная функция формы содержит всю мелкомасштабную информацию (трещины) и является линейной комбинацией полиномиальных функций. Таким образом решение состоит из двух этапов: построение неполиномиальных функций формы (каждая функция строится независимо друг от друга); получение глобального решения. Такой подход позволяет значительно сократить время решения благодаря разбиению всей задачи на ряд подзадач меньшей размерности, а также естественной параллельности алгоритма.

#### Список литературы

- [1] BROADBENT S. R., HAMMERSLEY J. M. Percolation processes. I. Crystals and Mazes // Proc. Camb. Phil. Soc., 1957. — P. 629–641.
- [2] E W., MING P., ZHANG P. Analysis of the heterogeneous multiscale method for elliptic homogenization problems // J. Am. Math. Soc. — 2003. — P. 121–156.

#### 1.47. Лиханова Ю.В. Результаты численного исследования эволюции конденсата Бозе—Эйнштейна на основе трехмерного уравнения Гросса—Питаевского

Основной характеристикой конденсата Бозе—Эйнштейна (БЭК) является то, что макроскопическое число бозонов скапливается на самом низком энергетическом уровне. Таким образом, атомы теряют свою самостоятельность и начинают вести себя словно один гигантский атом, т.е. квантовые эффекты проявляются на макромасштабах. Что объясняет большой экспериментальный и теоретический интерес к изучению БЭК.

В данной работе представлены результаты численного моделирования поведения БЭК на основе трехмерного уравнения Гросса—Питаевского (результаты исследований в двумерном случае были представлены ранее [1, 2]). После обезразмеривания

уравнение можно записать в виде

$$i\varepsilon \frac{\partial \psi(\mathbf{x}, t)}{\partial t} = -\frac{\varepsilon^2}{2} \nabla^2 \psi(\mathbf{x}, t) + V_3(\mathbf{x})\psi(\mathbf{x}, t) + k_3 |\psi(\mathbf{x}, t)|^2 \psi(\mathbf{x}, t),$$

где потенциал ловушки

$$V_3(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\gamma_x^2 x^2 + \gamma_y^2 y^2 + \gamma_z^2 z^2),$$

а параметры  $\varepsilon$  и  $k_3$  позволяют моделировать силу взаимодействия атомов в конденсате, т.к. зависят от числа сконденсированных атомов.

Задача разбивается на 2 подзадачи: 1) нахождение стационарного состояния конденсата с включенной удерживающей ловушкой (соответствующего основному состоянию системы) и 2) изучение поведения конденсата после ее выключения. Для решения этих подзадач был реализован численный алгоритм, основанный на расщеплении уравнения по физическим процессам с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). Стационарное состояние находилось методом на установление с применением «многого времени» [4].

Было проведено сравнение численных результатов с экспериментальными данными [3] для числа частиц  $N \approx 2.3 \cdot 10^5$ , которое показало хорошее качественное и количественное согласование при разлете конденсата (относительная разница по ширинам конденсата, полученных из эксперимента и численного расчета, не превышает 10%). Дальнейшая работа включает в себя расширение используемой математической модели.

#### Список литературы

- [1] Лиханова Ю.В. Об эволюции конденсата Бозе—Эйнштейна // Сборник тезисов XV Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. Тюмень: ИВТ СО РАН—2014 — С. 39–40.
- [2] МЕДВЕДЕВ С.Б., ЛИХАНОВА Ю.В., ФЕДОРУК М.П., ЧАПОВСКИЙ П.Л. Эволюция стационарного состояния в двумерном уравнении Гросса—Питаевского // Письма в ЖЭТФ. — 2014. — Т. 100, № 12, С. 935–940.
- [3] ЧАПОВСКИЙ П.Л. Бозе-эйнштейновская конденсация атомов рубидия // Письма в ЖЭТФ. — 2012. — Т. 95, № 3, С. 148–152.
- [4] BAO W., DU Q. Computing the ground state solution of Bose—Einstein condensates by a normalized gradient flow // Siam J. Sci. Comput. — 2004. — Vol. 25, No. 5, P. 1674–1697.

#### 1.48. Лызов Е.Р. Эффективность использования криволинейных элементов в задачах магнитостатики

В задачах конечноэлементного моделирования [1], как, впрочем, и в любых других задачах математического моделирования, ключевую роль играет точность полученного решения. Самый простой и очевидный способ получения более точного решения —

это использование как можно более подробных сеток, но с дроблением сетки сложность решаемой задачи, с точки зрения объема обрабатываемых данных, будет пропорционально увеличиваться от 2 до 8 раз, в зависимости от размерности задачи.

Можно пойти другим путем, и увеличить порядок базисных функций, тем самым увеличивая порядок аппроксимации дифференциального уравнения. Однако, если расчетная область имеет криволинейную границу, то граница по-прежнему будет аппроксимироваться с первым порядком. Таким образом если мы имеем дело с криволинейной границей, то для повышения точности решения, не прибегая к дроблению сетки, необходимо так же повышать точность аппроксимации криволинейных границ. Использование криволинейных элементов поможет решить эту проблему.

*Криволинейные элементы* — это конечные элементы, границы которых описываются полиномами заданного порядка. Целью работы является исследование эффективности использования криволинейных элементов в задачах магнитостатики. Мы будем проводить исследования на примере решения задачи магнитостатики в постановке с использованием двух скалярных потенциалов [2].

В работе рассматриваются подходы к построению и использованию криволинейных конечных элементов в прикладных вычислительных задачах. Проводится исследование эффективности решения задачи магнитостатики методом конечных элементов на расчетной области с криволинейной границей с использованием различных способов повышения точности решения — повышения порядка базисных функций, повышение порядка конечных элементов (использование криволинейных конечных элементов) и их комбинации.

#### Список литературы

- [1] BANGERTH W., RANNACHER R. Adaptive Finite Element Methods for Differential Equations. / Basel: Birkhauser Verlag, 2003. — 207 p.
- [2] СОЛОВЕЙЧИК Ю. Г., РОЯК М. Э., ПЕРСОВА М. Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. // Новосибирск: НГТУ, 2007. — 896 с.

#### 1.49. Магденко Е. Возникновение конвекции в однослойной жидкости в конечном цилиндре

Рассматривается цилиндр конечных размеров, в котором находится однослойная жидкость с верхней свободной плоской границей (круг). В состоянии покоя краевой угол равен  $\pi/2$ . Свободная поверхность обладает поверхностным натяжением, которое, в свою очередь, зависит от температуры. Контейнер находится в поле силы тяжести. Цилиндр нагревают снизу, и, когда разность температур на основаниях достигает некоторого критического значения, возникает движение внутри сосуда, обусловленное

градиентом температуры. Так как в работе рассматривается контейнер небольших размеров и поверхностное натяжение зависит от температуры, то возникает ещё эффект Марангони. Целью задачи как раз и является нахождение этой критической разности температур, а именно её зависимости от геометрии контейнера и физических параметров жидкости. Для этого рассматривается линеаризованная на равновесном состоянии задача о малых возмущениях системы. Полагается, что возмущения монотонны и в конвективном состоянии свободная поверхность является деформируемой, при этом краевой угол остаётся равным  $\pi/2$ . Для того чтобы применить метод разделения переменных для решения задачи полагается, что на боковых стенках цилиндра выполняется условие просачивания жидкости, при этом общий поток через всю поверхность равен нулю (поэтому вынужденная конвекция отсутствует), также возмущение температуры обращается в нуль.

Во второй части рассматривается случай, когда на боковой поверхности контейнера выполняется условие прилипания, а возмущения немонотонны. Для решения задачи применяется тау-метод. В результате получена зависимость частоты возмущений от волнового числа при различных значениях числа Марангони.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №14-01-00067.*

*Автор выражает глубокую благодарность доктору физ. мат. наук, профессору В. К. Андрееву за постановку задачи и ценные советы при проведении настоящего исследования.*

#### 1.50. Марков П. В. Использование непрерывных групп симметрий для ускорения численных расчетов разностных схем

Теория групп Ли преобразований за свою более чем вековую историю доказала свою эффективность в роли инструмента исследования дифференциальных уравнений. Непрерывные группы симметрий дифференциальных уравнений позволяют классифицировать подобные уравнения, искать различные подмодели, частные решения и др. В последние десятилетия появились приложения этой теории и для других типов уравнений, а, в частности, для конечно-разностных уравнений [1]. Особый интерес для данного типа уравнений представляет принцип размножения решений с помощью непрерывных групп симметрий. Этот принцип позволяет при наличии одного частного численного решения получить целое семейство решений с помощью преобразований группы симметрии, что для разностных схем с непрерывными симметриями способно значительно, на несколько порядков, повысить скорость численных расчетов.

В данном докладе на основе результатов из [2] для конечно-разностных схем приведены различные

свойства (в том числе принцип размножения решений), которые могут быть у схем при условии наличия непрерывной симметрии, а именно:

1. для одномерного уравнения фильтрации газа в пористой среде с учетом эффекта Клинкенберга [3] представлены инвариантные разностные схемы, для которых, в частности, может быть применен принцип размножения численных решений;
2. для одномерного уравнения Рапопорта-Лиса [4] продемонстрированы инвариантные разностные схемы и приведен пример расчета нескольких численных решений с использованием непрерывной группы симметрии и численного решения, полученного с помощью разностной схемы.

#### Список литературы

- [1] DORODNITSYN V. Applications of Lie Groups to Difference Equations. / Taylor and Francis Group, LLC, 2011.
- [2] ЛАГНО В.И., СПИЧАК С.В., СТОГНИЙ В.И. Симметричный анализ уравнений эволюционного типа. / Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. — 392 с.
- [3] AL-HUSSAINY R., RAMEY H. J., CRAWFORD P. B. The Flow of Real Gases through Porous Media // Journal of Petroleum Technology, SPE 1243A. — 1966.
- [4] РАПОРТ Л.А., ЛЕАС В.Д. Properties of linear waterfloods // Petroleum Transactions, AIME. — 1953. — Vol. 198.

#### 1.51. Марков С.И. Математическое моделирование процесса однофазной фильтрации на базе разрывного метода Галёркина

Изучение процесса течения жидкостей и газов является одной из актуальных задач физики, поскольку понимание данного явления позволяет совершенствовать производственных технологий, находить оптимальные режимы управления и производства продукции. На практике требуется решение сложных задач для расчетов различных режимов течения среды. Возникающие задачи моделирования процессов просачивания характеризуются значительной нелинейностью физических явлений и существенным изменением параметров потока.

В последние годы для решения подобных задач всё чаще используется разрывный метод Галёркина. Идея разрывного метода Галёркина основана на аппроксимации решения независимо на каждом конечном элементе и определении поведения решения на межэлементных границах с помощью «численных потоков», т. е. специальных операторов следа на двухсторонней границе.

В настоящей работе рассматриваются вопросы математического моделирования процесса однофазной фильтрации в пористых средах на базе разрывного метода Галёркина. Приводятся математическая модель процесса, анализ полученных результатов и дальнейшие перспективы развития работы.

#### 1.52. Массалулина М.А. Разработка математического и программного обеспечения для моделирования движения астероидов групп Аполлона и Атона с использованием метода Коуэлла

Исследование эволюции орбит небесных тел Солнечной системы является одним из основных этапов решения проблемы, связанной с астероидной опасностью. Вследствие того, что движение малых тел Солнечной системы описывается математической моделью в форме систем дифференциальных уравнений, разработка методов численного интегрирования уравнений движения является актуальной задачей в настоящее время.

В данной работе был реализован метод Коуэлла для решения уравнений движения небесных тел, основанных на новом принципе взаимодействия [1]. Построена математическая модель движения небесных тел на основе создания высокоэффективных алгоритмов и программ численного интегрирования дифференциальных уравнений методом Коуэлла с учетом шестых разностей.

Разработаны алгоритм и программное обеспечение с использованием банка данных координат планет в форме полиномов Эверхарта для исследования эволюции орбит небесных тел на основе метода Коуэлла [2]. Созданная программа позволила более чем в 2 раза сократить расчетное время решения по сравнению с одношаговым методом Эверхарта.

Проведено исследование сходимости и устойчивости решений системы дифференциальных уравнений методом Коуэлла на интервале времени с 18 апреля 2013 г. по 16 ноября 2045 г. для астероидов, представляющих потенциальную угрозу для Земли. В ходе работы было доказано, что элементы орбит астероидов групп Аполлона и Атона, полученные методом Коуэлла, согласуются с результатами других исследований.

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Заусаев А.Ф.*

#### Список литературы

- [1] ЗАУСАЕВ А.Ф., ЗАУСАЕВ А.А. Математическое моделирование орбитальной эволюции малых тел Солнечной системы. / М.: Машиностроение, 2008. — 250 с.
- [2] Куликов Д.К. Интегрирование уравнений движения небесной механики на электронных вычислительных машинах по квадратурному методу Коуэлла с автоматическим выбором шага // Бюлл. ИТА. — 1960. — Т. 7, № 10, С. 770–797.

#### 1.53. Микушина В.А. Математическое моделирование биосовместимой керамики

Развитие современной медицины связано с использованием изделий из материалов, технологии создания, которых разрабатываются в последние десятилетия. Успешность применения таких материалов в медицине, как и в других приложениях во многом определяется полнотой информации об их

механических и биологических свойствах, для получения такой информации в настоящее время широко применяются методы компьютерного моделирования, корректность этих методов, непосредственно, зависит от качества компьютерных моделей биоматериалов. При решении подобных задач может быть эффективным использование многоуровневых представлений.

Целью работы является развитие методов математического моделирования биоматериалов.

В данной работе рассматривается модельный композиционный материал, матрицей которого является пористая керамика, а наполнителем – кортикальная костная ткань.

Структура пористости биокомпозита описывается при помощи геометрической модели. Рассмотрены два типа модели: в первом случае модель включает только поры, во втором — как поры, так и соединяющие их каналы. Каналы при построении геометрической модели представлены дискретными элементами, размеры которых существенно меньше пор. Задача решалась с использованием многоуровневой вычислительной модели, в рамках которой на мезоуровне исследуется представительная выборка локальных свойств материала с учетом реальной структуры пористости, а на макроуровне выполняется оценка эффективных свойств биокомпозита. При оценке прочности на макроуровне используется подход, основанный на теории перколяции.

Результаты численного моделирования показали эффективность многоуровневого подхода к моделированию механических свойств биосовместимого композита. Получены оценки предельной деформации биокомпозитов и характеристики процесса накопления повреждений.

#### 1.54. Михайлов С.О. Численное моделирование задачи трехмерного плескания методом конечных элементов с частицами.

Современная вычислительная гидродинамика все больше обращает свое внимание на качественное моделирование трехмерных задач обрушения волн, движения морских объектов (платформ, танкеров), взаимодействия с погруженными телами, гидродинамических процессов в зоне прибоя, моделирования волновых ударов (wave impact). Для численного моделирования обозначенных выше проблем используется система уравнений Навье—Стокса и бессеточные методы.

Бессеточные методы аппроксимируют уравнения в частных производных, основываясь только на наборе узлов, что позволяет при высоких деформациях расчетной области не получать вырожденные ситуации. Особое место среди бессеточных методов занимают, так называемые, условно-бессеточные методы — NEM, MFEM, PFEM [1], [2], важным свойством которых является наличие новой расчетной сетки на каждом шаге по времени. Данные методы

основаны на классическом методе конечных элементов и обладают всеми его свойствами.

В качестве элемента дискретизации используется триангуляция Делоне и диаграмма Вороного. На основе триангуляции Делоне строится классическая линейная конечно-элементная интерполяция, на основе диаграммы Вороного строится интерполяция Сибсона (Sibson) и интерполяция Лапласа (non-Sibson). Для аппроксимации уравнений движения используется метод расщепления по физическим процессам.

В данной работе представлено численное моделирование задачи плескания жидкости в трехмерном прямоугольном бассейне. В начальный момент времени жидкость покоится, а свободная поверхность задается функцией вида  $f = f(x, y)$ , имеющей локальные возвышения над уровнем бассейна. Движение жидкости осуществляется под действием силы тяжести.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Карабцев С.Н.*

#### Список литературы

- [1] IDELSONH S., ONATE E., CALVO N., DEL PIN F. The meshless finite element method // International Journal for Numerical Methods in Engineering. — 2003. — Vol. 58, No 4.
- [2] SUKUMAR N., MORAN B., BELYTSCHKO V. The natural element method in solid mechanics // Int. J. Num Methods Eng. — 1998. — P. 839–887.

#### 1.55. Нгуен Л.Г. О задаче оптимального размещения логистических центров в неравномерно заселенной области

В докладе рассматривается задача о размещении обслуживающих центров (ОЦ) в области при непрерывном распределении потребителей с одновременным переопределением их логистических зон. Такая постановка задачи является вполне естественной, в случае, когда рассматривается область с большой плотностью населения, поскольку в этом случае весьма затруднительным оказывается выделение «точечных» мест расположения потребителей. Необходимо разместить некоторое количество обслуживающих центров (складов, магазинов), при этом оптимальным расположением можно считать такое, при котором будет минимально интегральное время прибытия всех потребителей в ближайший к ним ОЦ.

Пусть в некоторой ограниченной области  $D \subseteq R^2$  с кусочно-гладкой границей заданы непрерывная функция  $\rho(M) \geq 0$  и кусочно-непрерывная функция  $v(M) > 0$ , характеризующие в точке  $M(x, y)$  плотность населения и мгновенную скорость движения соответственно. Также имеются  $m$  логистических центров (складов), расположение которых заранее неизвестно  $A_k(x_k, y_k)$ , ( $k = \overline{1, m}$ ). Тогда минимальное время перемещения между любыми двумя точками  $M$  и  $N$  в области  $D$  определяется

следующим образом:

$$T(M, N) = \min_{G \in G(M, N)} \int_G \frac{dG}{v(x, y)},$$

где  $G(M, N)$  — множество всех непрерывных кривых, лежащих в  $D$  и соединяющих  $M$  и  $N$ .

Требуется найти оптимальные расположения складов  $A_k(x_k^*, y_k^*)$ , ( $k = \overline{1, m}$ ) и разбиение области  $D$  на  $m$  сегментов  $D_k$ , ( $k = \overline{1, m}$ ), чтобы общее время достижения  $A_k(x_k, y_k)$  всеми своими потребителями (принадлежащими сегменту  $D_k$ ) было минимально возможным, т.е.

$$\sum_{k=1}^m \int_{D_k} \rho(M) T(M, A_k) dM \rightarrow \min_{A_k \in D_k}.$$

Отметим, что в указанной постановке использовано несколько результатов изученных авторами ранее задач о размещении логистических центров при точечном [1] и распределенном [2] размещении потребителей. Также удалось показать, что такие задачи можно рассматривать как задачи оптимального управления [3]. Для решения описанных выше задач разработаны и программно реализованы вычислительные алгоритмы, основанные на оптико-геометрическом подходе, суть которого заключается в использовании аналогии между распространением света в оптически-неоднородной среде и нахождением минимума интегрального функционала [3, 4]. В докладе будут представлены результаты вычислительных экспериментов.

#### Список литературы

- [1] Казаков А. Л., Лемперт А. А. Об одном подходе к решению задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике // Автоматика и телемеханика. — 2011. — № 7, С. 50–57.
- [2] Казаков А. Л., Лемперт А. А., Бухаров Д. С. К вопросу о сегментации логистических зон для обслуживания непрерывно распределенных потребителей // Автоматика и телемеханика. — 2013. — № 6, С. 87–100.
- [3] Ушаков В. Н., Матвийчук А. Р., Ушаков А. В., Казаков А. Л. О построении решений задачи о сближении в фиксированный момент времени // Известия ИГУ. Серия Математика. — 2012. — Т. 5, № 4, С. 95–115.
- [4] ЛЕБЕДЕВ П. Д., УСПЕНСКИЙ А. А. Геометрия и асимптотика волновых фронтов // Известия высших учебных заведений. Математика. — 2008. — № 3, С. 27–37.

#### 1.56. *Нестеренко С.В.* Совместное двумерное стационарное термокапиллярное течение двух жидкостей со свободной границей

В плоском канале толщиной  $l_1 + l_2$  рассматривается совместное движение двух вязких теплопроводных жидкостей, причём прямая  $y = -l_1$  является неподвижной твёрдой стенкой, прямая  $y = 0$  — поверхность раздела, а  $y = l_2$  — свободная граница.

Поле скоростей в жидкостях имеет вид  $\mathbf{u}_j = (u_j(y, t)x, \vartheta_j(y, t))$ , а поле температур —  $\theta_j = a_j(y, t)x^2 + b_j(y, t)$ . Давление в жидкостях равно  $p_j = \rho_j(h_j(y, t) - f_j(t)x^2/2)$ , где  $\rho_j$  — постоянная плотность,  $f_j$  — произвольные функции и функции  $h_j$  восстанавливаются квадратурой из уравнения  $h_{jy} = \nu_j \vartheta_{jyy} - \vartheta_{jt} - \vartheta_j \vartheta_{jy}$  по известным функциям  $\vartheta_j$ ;  $\nu_j$  — постоянная кинематическая вязкость жидкости.

Возникающая сопряжённая начально-краевая задача для функций  $u_j(y, t), \vartheta_j(y, t), a_j(y, t), b_j(y, t)$  является нелинейной и обратной, так как функции  $f_j(t)$  — градиенты давления по оси  $x$ , являются также искомыми.

Далее считается, что движение происходит только за счёт изменения сил поверхностного натяжения вдоль свободной границы и границы раздела, причём соответствующие числа Марангони малы.

При этом нелинейная задача заменяется линейной с неклассическими граничными условиями. Найдено стационарное решение этой задачи и построены картины течения в зависимости от поведения температуры на твёрдой стенке.

Нестационарная задача решена методом преобразования Лапласа. При некоторых условиях на функцию  $a_1(-l_1, t)$  доказано, что решение выходит на стационарный режим с ростом времени. Приведены численные расчёты полей скоростей и температур для конкретных несмешивающихся жидкостей.

#### 1.57. *Новиков А.Е.* Явно-неявный алгоритм с применением схем четвертого порядка

Во многих важных приложениях возникает проблема численного решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. В современных методах решения жестких задач при вычислении стадий применяется LU-разложение матрицы Якоби. В случае достаточно большой размерности исходной системы быстродействие алгоритма интегрирования фактически полностью определяется временем декомпозиции этой матрицы. Для повышения эффективности расчетов в ряде алгоритмов используется замораживание матрицы Якоби, то есть применение одной матрицы на нескольких шагах интегрирования [1]. В алгоритмах интегрирования на основе известных безытерационных численных схем, к которым относятся методы типа Розенброка [2] и их различные модификации, проблема замораживания более трудная. Некоторым аналогом замораживания матрицы Якоби является применение в расчетах алгоритмов интегрирования на основе явных и L-устойчивых методов с автоматическим выбором численной схемы [3]. Эффективность алгоритма может быть повышена за счет расчета переходных участков явным методом. В качестве критерия выбора эффективного метода применяется неравенство для контроля устойчивости. Здесь на основе L-устойчивого (4,2)-метода и схемы

Мерсона четвертого порядка точности построен алгоритм переменной структуры. Приведены результаты расчетов.

#### Список литературы

- [1] Хайрер С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи. / М.: Мир, 1999. — 685 с.
- [2] ROSENBROCK H. H. Some general implicit processes for the numerical solution of differential equations // Computer. — 1963. — No. 5, P. 225–229.
- [3] Новиков А. Е., Новиков Е. А. Численное решение жестких задач с небольшой точностью. // Математическое моделирование. — 2010. — Т. 10, № 1, С. 46–56.

#### 1.58. Павельчук А. В., Черняк Е. А., Масловская А. Г. Решение полевых задач воздействия электронного облучения на полярные диэлектрические материалы: гибридные вычислительные схемы и приложения

В настоящее время актуальным направлений функциональной диагностики и модификации свойств материалов является применение аналитических возможностей растровой электронной микроскопии. Интенсивное развитие экспериментальных методик растровой электронной микроскопии во многом базируется на обосновании и интерпретации законов и механизмов воздействия электронного облучения на облучаемую мишень. Исследование динамических процессов, протекающих в объектах в неравновесных условиях электронного облучения, можно проводить на основе математического моделирования [1], [2]. Одними из важнейших полевых эффектов полевого воздействия электронных пучков на диэлектрические материалы являются нагрев и зарядка образцов. Настоящая работа представляет результаты построения вычислительных схем, предназначенных для реализации модели эволюционных инжекционных, тепловых и зарядовых процессов, возникающих в полярных диэлектриках.

Моделирование транспорта электронов в облученной мишени проводилось на основе метода Монте-Карло. Результат позволяет описать геометрию области взаимодействия зонда с исследуемыми материалами, а также ввести в рассмотрение функцию внутреннего источника. С помощью вычислительного эксперимента определены для режимов с нанесенными на грань металлическими электродами критические значения толщины покрытия. Модели теплопроводности и зарядки сформулированы в детерминированных постановках. Реализация моделей основана на построении гибридных схем, включающих стохастическое моделирование транспорта электронов и решение эволюционных многомерных уравнений параболического типа сеточными методами.

В математической постановке тепловой задачи учтена возможность реализации нелинейного температурного режима для полярных материалов и использования металлических электродов. Вычислительная схема решения задачи теплопроводности строилась комбинированным сеточным методом, включающим конечно-разностную схему Кранка-Николсона и конечно-элементный метод Галеркина. Модель процесса зарядки полярного диэлектрика электронным зондом включает уравнение Пуассона и уравнение непрерывности, построенного с учетом собственной радиационно-стимулированной проводимости образца. Алгоритм решения уравнения непрерывности (уравнения типа «реакция-диффузия») построен с помощью неявной схемы расщепления и реализован методом прогонки. Решение уравнения Пуассона проведено конечно-элементным методом.

На основе программной реализации конструируемых вычислительных схем проведены модельные эксперименты по исследованию тепловой нагрузки электронного зонда на исследуемые материалы и расчету характеристик зарядки при заданных наборах входных параметров.

#### Список литературы

- [1] MASLOVSKAYA A., PAVELCHUK A. Simulation of dynamic charging processes in ferroelectrics irradiated with SEM // Ferroelectrics. — 2015. — Vol. 476, P. 157–167.
- [2] MASLOVSKAYA A., PAVELCHUK A. Simulation of heat conductivity and charging processes in polar dielectrics induced by electron beam exposure // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2015. — Vol. 81, P. 012119.

#### 1.59. Паровик Р. И. Математическое моделирование линейного эрдитарного осциллятора

Исследование процессов в средах с фрактальной структурой имеет важное практическое значение в физике, геофизике, экономике и в других науках. Понятие фрактала является ключевым в теории физики открытых систем [1], нелинейной и хаотической динамики. Применение понятия фрактала, например, при описании динамических систем наделяет их свойствами присущими сложным нелинейным системам, например, эффектами эрдитарности. Напомним, что свойством эрдитарности обладают такие системы, в которых учитывается не только настоящее состояние системы или ближайшее предыдущее состояние, то есть начальные значения параметров состояния системы, а также некоторые производные по времени, но также и все предыдущие состояния, в которых находилась данная система [2]. Поэтому изучение таких систем имеет важное принципиальное значение.

Рассмотрим следующую эрдитарную систему, которая записывается в терминах производных

дробного порядка в смысле Герасимова—Капуто следующим образом [3], [4]:

$$\partial_{0t}^{\beta} x(\tau) + \lambda \partial_{0t}^{\gamma} x(\tau) + \omega^{\beta} x(t) = \delta \sin(\varphi t), \quad (1)$$

с начальными условиями:

$$x(0) = x_1, \quad x'(0) = x_2, \quad (2)$$

где  $x_1, x_2$  — заданные константы,  $\lambda$  — коэффициент трения,  $\omega$  — собственная частота,  $\delta$  и  $\varphi$  — амплитуда и частота внешнего воздействия,  $1 < \beta < 2$ ,  $0 < \gamma < 1$ .

Решение задачи (1), (2) можно найти численными методами, которые можно легко реализовать на ЭВМ. В работе с помощью интегрального преобразования Лапласа было найдено аналитическое решение в терминах специальной обобщенной функции Райта. Так же были построены фазовые портреты в зависимости от значений дробных параметров  $\beta$  и  $\gamma$ , установлены различные режимы: затухающие колебания, резонанс, предельные циклы.

#### Список литературы

- [1] Климонтович Ю. Л. Введение в физику открытых систем. М.: Янус-К, 2002. — 284 с.
- [2] Вольтерра В. Теория функционалов, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений / М.: Наука, 1982. 304 с.
- [3] ГЕРАСИМОВ А. Н. Обобщение линейных законов деформации и их приложение к задачам внутреннего трения // АН СССР. Прикладная математика и механика. — 1948. — Т. 12, С. 529–539.
- [4] CAPUTO M. Elasticità e dissipazione. Bologna: Zanichelli, 1969. — 150 p.

#### 1.60. Поleshкин С.О. Оптимизация алгоритмов численного решения уравнения Больцмана на графических ускорителях

Работа посвящена уменьшению времени расчётов и оптимизации алгоритма численного решения уравнения Больцмана, предложенного в [1]:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla_{\vec{r}} \tilde{f} = \frac{1}{Kn} St(f) \quad (1)$$

где оператор, отвечающий за столкновения  $St(f)$  имеет вид:

$$St = \int_{R^3} d^3 \vec{v}_1 \int_{S^2} (f' f'_1 - f f_1) |\vec{V}| \sigma(\vec{V}, \cos \theta) dS \quad (2)$$

Оптимизация происходит за счёт более эффективного вычисления оператора столкновений (2), стоящего в правой части уравнения Больцмана (1). Для вычисления правой части значимой является сравнительно небольшая часть узлов вычислительной сетки в пространстве скоростей. Остальные узлы при вычислении интеграла игнорируются. Отбор значимых узлов происходит в соответствии с

их вкладом в вычисление централизованного момента того или иного чётного порядка:

$$M = \sum_i |\vec{v}_i - \vec{V}_c|^{2p} f_i$$

$$\vec{V}_c = \sum_i \vec{v}_i f_i$$

Здесь  $\vec{v}_i$  — узел сетки в пространстве скоростей. При отборе узлов также можно ориентироваться и на другие интегральные характеристики функции распределения, которые имеют физический или математический смысл. В данной работе исследован алгоритм отбора узлов по энтропии:

$$e = \sum_i \ln(f_i) f_i$$

Отбор узлов происходит следующим образом:

1. сортировка узлов расчетной сетки с ключом  $|\vec{v}_i - \vec{V}_c|^{2p} f_i$ , в случае энтропии сортировка происходит по величине самой функции распределения, поскольку логарифм монотонная функция.
2. число значимых узлов (отсортированных на предыдущем шаге)  $n$  выбирается из критерия:

$$\frac{\sum_i^n |\vec{v}_i - \vec{V}_c|^{2p} f_i - \sum_i^N |\vec{v}_i - \vec{V}_c|^{2p} f_i}{\sum_i^N |\vec{v}_i - \vec{V}_c|^{2p} f_i} < \epsilon$$

Здесь  $N$  — общее число узлов на сетке скоростей. В случае энтропии критерий несколько другой:

$$\frac{\sum_i^n \ln(f_i) f_i - \sum_i^N \ln(f_i) f_i}{\sum_i^N \ln(f_i) f_i} < \epsilon$$

Расчёты проводились с использованием технологии CUDA на графическом процессоре на кластере НГУ.

#### Список литературы

- [1] Малков Е. А., Иванов М. С. Детерминированный метод частиц-ячеек для решения задач динамики разреженного газа // Вычислительные методы и программирование. — 2011. — Т. 12, С. 368–374.

#### 1.61. Полякова А.П., Светов И.Е., Мальцева С.В. О восстановлении двумерных симметричных $m$ -тензорных полей методом приближенного обращения

Пусть в единичном круге распределено симметричное  $m$ -тензорное поле. Требуется восстановить это поле по известным значениям лучевых преобразований. Для численного решения поставленной задачи предлагается использовать алгоритм, основанный на методе приближенного обращения хорошо себя зарекомендовавшем при решении задач скалярной томографии [1].

Идея метода приближенного обращения для восстановления скалярного поля состоит в следующем. Пусть требуется найти решение (функцию  $f$ ) операторного уравнения  $Af = g$ , для оператора

$$A : H \rightarrow K.$$

Для этого используются усредняющие функции  $e_x$ , обладающие свойствами:

$$\langle e_x, e_x \rangle_H = 1, \quad \langle f, e_x \rangle_H \approx f(x).$$

Пусть  $A^*$  — двойственный оператор для  $A$ , тогда существуют функции  $\psi_x$  такие, что  $A^*\psi_x = e_x$ . Тогда имеем

$$f(x) \approx \langle f, e_x \rangle_H = \langle f, A^*\psi_x \rangle_H = \langle Af, \psi_x \rangle_K = \langle g, \psi_x \rangle_K.$$

Таким образом приближенное решение строится путем скалярного произведения исходных данных  $g$  и функций  $\psi_x$ , которые могут быть найдены до получения томографических данных. Зачастую найти точные выражения для вычисления  $\psi_x$  оказывается проблематично. В таких случаях значения  $\psi_x$  могут быть найдены приближенно с использованием сингулярного разложения оператора  $A$ .

Предлагаемый в работе алгоритм приближенного обращения для восстановления симметричного  $m$ -тензорного поля основан на подходе, позволяющем сводить задачу  $m$ -тензорной томографии к  $m + 1$  задачам скалярной томографии. Алгоритм численно реализован для  $m = 1, 2$ , приводятся результаты экспериментов.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект №14-01-31491-мол\_а).*

#### Список литературы

- [1] DEREVTSOV E. YU., DIETZ R., LOUIS A. K., SCHUSTER T. Influence of refraction to the accuracy of a solution for the 2D-emission tomography problem // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. — 2000. — Vol. 8, No. 2, P. 161–191.

#### 1.62. Рукун Ю. А. Моделирование макроскопической прочности гетерогенного материала

Современный уровень развития машиностроения, медицины, строительства характеризуется широким применением композиционных материалов. Поэтому одной из актуальных проблем современного материаловедения является разработка методов прогнозирования прочностных характеристик таких материалов. Наличие гетерогенной структуры в этих материалах значительно усложняет оценку их прочности. В настоящее время для решения данной задачи развиваются методы моделирования основанные на многоуровневом подходе к описанию структуры.

Целью работы является разработка методики использования критерия прочности перколяционного типа для оценки состояния материала на макроскопическом масштабном уровне для случаев, когда повреждения распределены по объему композита.

Подобная оценка дает возможность исследовать состояние материала, непосредственно предшествующее макроскопическому разрушению изделия.

В рамках многоуровневого подхода представительный объем гетерогенного материала можно описать при помощи множества мезообъемов. Задача оценки состояния каждого мезообъема решается с помощью метода конечных элементов. Результатом такой оценки является присвоение каждому мезообъему одного из двух возможных «состояний»: «исходное», «поврежденное».

С позиции перколяционного подхода каждый мезообъем рассматривается в качестве узла кластерной решетки. Состояния этих узлов могут изменяться в процессе пошагового возрастания внешних нагрузок. Полученная решеточная модель представительного объема на каждом шаге по нагрузке используется для решения задачи о перколяции «поврежденного» состояния [1]. Алгоритм предусматривает введение дополнительных («контрольных») узлов на противоположных сторонах моделируемого объема материала и поиск пути от одного «контрольного» узла до другого, парного ему, по узлам решетки, находящимся в «поврежденном» состоянии. Обнаружение такого пути позволяет утверждать, что в объеме имеется соединительный кластер «поврежденных» узлов решетки. Наличие такого кластера принимается в качестве признака перехода всего объема в «поврежденное» состояние. В рамках решения задачи о прочности композита такой переход может рассматриваться как признак макроскопического разрушения гетерогенного материала.

Изложенный алгоритм может служить основой для реализации многоуровневых численных методов исследования новых материалов, основанных на статистическом исследовании их локальных свойств [2].

#### Список литературы

- [1] ТАРАСЕВИЧ Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы. Учебное пособие. / М.: Едиториал УРСС, 2002. — 112 с.  
[2] СОВЕТОВА Ю. В., СИДОРЕНКО Ю. Н., СКРИПНЯК В. А. Многоуровневый подход к определению эффективных свойств композита с учетом повреждаемости // Физическая мезомеханика. — 2013. — Т. 16, № 5, С. 59–65.

#### 1.63. Рубан А. И., Михалев А. Глобальная оптимизация на множестве смешанных переменных: непрерывных и дискретных с упорядоченными возможными значениями

Метод глобальной оптимизации [1], основанный на селективном усреднении искомым переменных, позволяет строить широкий спектр эффективных алгоритмов с учетом ограничений типа неравенств и типа равенств — как по отдельности, так и вместе.

Оптимизируемая функция и функции ограничений могут быть разрывными и содержать помехи.

Пробные и рабочие шаги разнесены. Информацией для селективного усреднения служат измерения (либо вычисления) оптимизируемой функции и всех функций ограничений, полученные в пробных точках.

Дискретные переменные, основываясь на специфике их возможных значений, можно разделить на 3 класса: с неупорядоченными, упорядоченными нечисловыми и числовыми возможными значениями. В данной работе представлен алгоритм поиска глобального минимума с непрерывными и дискретными переменными второго класса при наличии нежестких ограничений типа неравенств. К нежестким ограничениям неравенствам, выделяющим допустимое множество значений искомых переменных, относим такие из них, для которых удается за приемлемое время расположить пробные точки на допустимом множестве.

Каждому возможному значению дискретной переменной ставим в соответствие интервал возможных значений ее непрерывного аналога на основе кусочно-постоянной функции взаимнооднозначного соответствия между ними. За счёт этого осуществляется переход от задачи минимизации по непрерывным и упорядоченным дискретным переменным к задаче минимизации только по непрерывным переменным. Размерность задачи оптимизации не меняется. После нахождения оптимального решения производится обратный переход от соответствующих непрерывных переменных к дискретным.

Использование указанного подхода позволяет производить поиск оптимального решения без использования полного или частичного перебора вариантов возможных значений дискретных переменных.

Приводятся численные примеры.

#### Список литературы

[1] РУВАН А.И. Глобальная оптимизация методом усреднения координат. / Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. — 302 с.

#### 1.64. Рыбков М.В., Новиков Е.А. Алгоритм интегрирования с адаптивными областями устойчивости

При численном решении жестких задач широко применяются явные методы [1]. Это связано с тем, что при применении  $L$ -устойчивых методов возникает проблема с обращением матрицы Якоби. В случае большой размерности системы дифференциальных уравнений время декомпозиции данной матрицы фактически определяет общие вычислительные затраты. В то же время явные методы не нуждаются в вычислении матрицы Якоби и, если жесткость задачи не слишком велика, то они будут предпочтительнее. В настоящее время применяются алгоритмы переменного порядка и шага, что приводит к существенному повышению эффективности

расчетов. На участках установления нет смысла использовать численные формулы высокого порядка точности. Быстродействие можно повысить за счет применения методов низкого порядка, но с большими областями устойчивости. Поэтому дальнейшее повышение эффективности достигается за счет построения алгоритмов интегрирования не только с переменным порядком и шагом, но и с переменным числом стадий.

В [2] разработан алгоритм определения коэффициентов полиномов устойчивости, при которых метод имеет заданную форму и размер области устойчивости. С применением полученных коэффициентов многочленов устойчивости создан алгоритм интегрирования с переменным числом стадий на основе методов первого порядка для решения умеренно жестких задач. Известно, что максимальная длина интервала устойчивости  $m$ -стадийного метода типа Рунге–Кутты первого порядка точности равна  $2m^2$ . В результате на каждое вычисление правой части приходится  $2m$  единиц длины интервала устойчивости. Это означает, что если шаг ограничен по устойчивости, то с ростом  $m$  эффективность метода возрастает.

Построенный алгоритм интегрирования жестких задач с переменным числом стадий на основе методов первого порядка позволяет существенно повысить эффективность расчетов на участке установления решения, где шаг ограничен по устойчивости.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-01-00047).*

#### Список литературы

[1] Новиков Е. А. Явные методы для жестких систем: монография / Новосибирск: Наука, 1997. — 195 с.

[2] Новиков Е. А., Рыбков М. В. Численный алгоритм построения многочленов устойчивости методов первого порядка // Вестник Бурятского государственного университета. — 2014. — № 9–2, С. 80–85.

#### 1.65. Рыжков И.И., Минаков А.В., Лебедев Д.В., Хартов С.В., Симунин М.М., Шиверский А.В. Моделирование транспорта ионов вблизи наноструктурированных поверхностей и в нанопорах

Полупроницаемые мембраны с наноразмерными порами (наномембраны) являются одним из перспективных технологий разделения веществ. Принцип работы традиционных пассивных мембран основан на геометрическом соответствии размеров пор и размеров пропускаемых молекул. В настоящее время интенсивно изучаются активные мембраны, селективность которых может варьироваться посредством внешнего воздействия. В качестве такого воздействия может выступать электрическое поле, создаваемое заряженными стенками поры. В частности, отрицательный заряд на стенке будет препятствовать прохождению положительных ионов.

В работе [1] синтезирована структура на основе пористого анодного оксида алюминия со сквозными порами диаметром 10–40 нм. Стенки пор являются проводящими нанотрубками, подключенными к общему входному электроду. Высказано предположение, что рост неоднородности электрического поля, связанный с морфологией созданной структуры, будет способствовать увеличению ионной селективности мембраны и расширению диапазона допустимой концентрации ионов в обрабатываемом растворе. Следует отметить, на промежуточной стадии формирования наномембраны синтезируется поверхность, покрытая нановорсинками (Активный Нановорсинистый Материал). Этот материал может использоваться в качестве концентратора ионов при приложении к нему электрического потенциала.

В настоящей работе проводится математическое моделирование переноса ионов вблизи поверхности АНВ-материала, а также в нанопорах с целью более глубокого понимания соответствующих физико-химических закономерностей и оптимизации процесса. Математическая модель основана на уравнении Пуассона для потенциала и уравнении Нернста—Планка для концентрации ионов. Перенос ионов происходит путем диффузии и электромиграции. Рассмотрены различные подходы к моделированию распределения ионов в двойном электрическом слое (с учетом и без учета конечных размеров ионов). Изучено влияние величины и знака заряда на стенках нанопоры на транспорт положительных и отрицательных ионов в водных растворах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-19-10017).*

#### Список литературы

- [1] Симунин М. М., Хартов С. В., Шиверский А. В., Зырянов В. Я., Фадеев Ю. В., Воронин А. С. Структуры на основе графитизированных нанотрубок с общим электродом в матрице пористого анодного оксида алюминия для задачи формирования переключаемых электрическим полем мембран // Письма в ЖТФ. — 2015. — Т. 41, вып. 21, С. 52–59.

#### 1.66. Семенко Р. Е., Блохин А. М. О течениях несжимаемой полимерной жидкости между соосными цилиндрами

В работе рассматривается течение полимерной жидкости между двумя соосными круглыми цилиндрами. Изучается квазилинейное дифференциальное уравнение, описывающее скорость стационарного неизотермического течения несжимаемой вязкоупругой полимерной жидкости в трубе. Это уравнение было получено в работе [1], в основе которой в свою очередь лежит реологическая модель, являющаяся модификацией модели Покровского-Виноградова [2]. Для этого уравнения ставится задача, описывающая течение между соосными круглыми цилиндрами. Полученную задачу мы сводим к

задаче Коши для нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка.

В работе приводятся численные решения полученной задачи для широкого диапазона параметров. Особенностью этой задачи является то, что начальное условие зависит от искомой неизвестной функции, поэтому для нахождения численного решения предлагается использовать итерации по нелинейности, где на каждом итерационном шаге мы используем разностную схему предиктор-корректор второго порядка. Решение для первоначального набора параметров находится с использованием в качестве первого приближения течения Пуазейля. Далее уже найденные решения используются в качестве первых приближений для задач с близкими значениями параметров.

#### Список литературы

- [1] Блохин А. М., Семисалов Б. В., Шевченко А. С. Стационарные решения уравнений, описывающих неизотермические течения несжимаемой вязкоупругой полимерной жидкости // Матем. моделирование (принято в печать).
- [2] Алтухов Ю. А., Гусев А. С., Пышноград Г. В. Введение в мезоскопическую теорию текучих полимерных систем. / Барнаул: АлтГПА, 2012.

#### 1.67. Сидельников О. С., Сиглетос С., Турицын С. К., Федорук М. П., Феррейра Ф. Численное моделирование многомодовых оптоволоконных линий связи

В настоящее время разработка систем связи, основанных на многомодовых волокнах, рассматривается в качестве перспективного пути для увеличения пропускной способности. Однако при передаче данных на большие расстояния с помощью многомодового волокна возникает проблема выравнивания сигнала при его детектировании в приемнике. Сигналы, передаваемые по разным модам волокна, движутся с разными скоростями, и поэтому перед детектированием сигнала в приемнике эквалайзер должен принимать и хранить сигналы более быстрых мод, пока не придет сигнал самой медленной. Существует два подхода снижения дифференциальной групповой задержки (differential group delay, DGD) волокна для уменьшения требований к объему памяти для эквалайзера ММО. Это волокна с низким DGD и волокна с компенсированным DGD, состоящие из чередующихся сегментов с DGD противоположных знаков.

В работе рассмотрены два важных случая распространения сигнала в многомодовых волокнах, представляющие практический интерес, — режимы слабой и сильной связи. В случае слабой связи мод нелинейное распространение сигнала вдоль одной моды многомодового волокна описывается

следующим уравнением Манакова [1]:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \bar{A}_p}{\partial z} + i \langle \delta \beta_{0p} \rangle \bar{A}_p + \\ & + \langle \delta \beta_{1p} \rangle \frac{\partial \bar{A}_p}{\partial t} + i \frac{\beta_{2p}}{2} \frac{\partial^2 \bar{A}_p}{\partial t^2} = \\ & = i \gamma \left( f_{pppp} \frac{8}{9} |\bar{A}_p|^2 + \sum_{m \neq p} f_{mmp} \frac{4}{3} |\bar{A}_m|^2 \right) \bar{A}_p. \end{aligned}$$

В режиме сильной связи уравнение распространения принимает следующий вид [2]:

$$\frac{\partial \mathcal{A}}{\partial z} + \frac{1}{v} \frac{\partial \mathcal{A}}{\partial t} + i \frac{\bar{\beta}_2}{2} \frac{\partial^2 \mathcal{A}}{\partial t^2} = i \gamma \kappa |\mathcal{A}|^2 \mathcal{A},$$

где

$$\kappa = \sum_{k \leq l}^M \frac{32}{2^{\delta_{kl}}} \frac{f_{kkl}}{6M(2M+1)}.$$

В работе исследуется процесс распространения электромагнитного излучения в многомодовых волокнах. Целью работы является оптимизация конфигурации систем цифровой связи, основанных на многомодовом волокне с низким DGD и волокне с компенсированным DGD, для уменьшения величины вектора ошибки в зависимости от количества распространяющихся мод, режима связи мод и типа модуляции.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант №. 14.578.21.0029).*

#### Список литературы

- [1] MUMTAZ S., ESSIAMBRE R., AGRAWAL G.P. Nonlinear Propagation in Multimode and Multicore Fibers: Generalization of the Manakov Equations // J. Lightwave Technol. — 2013. — Vol. 31, No. 3, P. 398–406.
- [2] MESCOZZI A., ANTONELLI C., SHTAIF M. Nonlinear propagation in multi-mode fibers in the strong coupling regime // Opt. Express. — 2012. — Vol. 20, No. 11, P. 11673–11678.

#### 1.68. Смирнов Д.Д. Моделирование распределения решения линейного осциллятора с мультипликативным шумом

В настоящее время во многих областях знаний большой интерес вызывают задачи, связанные с понятием колебаний или осцилляций различных динамических систем [1]. Появление неточности в измерениях сигналов различных приборов, так же как и влияние различных шумов, неизбежно влечет за собой применение в исследованиях такого мощного аппарата как стохастические дифференциальные уравнения. А вместе с тем возникают как вопросы устойчивости решений, так и вопросы качественного исследования влияния различных параметров системы на устойчивость решения СДУ. Данная работа посвящена численному анализу распределения решения линейного СДУ второго порядка в смысле Ито с мультипликативным шумом для различных режимов устойчивости [2].

Для численного анализа решения линейного колебательного СДУ использовался асимптотически несмещенный обобщенный метод типа Розенброка (с параметром  $a = 1/2$ ) [3]. Вычислялись частотная интегральная кривая (ЧИК) и частотный фазовый портрет (ЧФП) [4], которые являются аналогами интегральной кривой и фазового портрета для решений систем СДУ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 14-01-00340, № 14-01-00787) и гранта «Научные школы» (НШ-5111.2014.1).*

#### Список литературы

- [1] Кляцкин В. И. Стохастические уравнения глазами физика. / М.: Физматлит, 2001.
- [2] АВЕРИНА Т. А., АЛИФИРЕНКО А. А. Анализ устойчивости линейного осциллятора с мультипликативным шумом // Сиб. журн. вычисл. математики. — 2007. — Т. 10, № 2, С. 127–145.
- [3] АВЕРИНА Т. А., АРТЕМЬЕВ С. С. Новое семейство численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений // Докл. АН СССР. — 1986. — Т. 288, № 4, С. 777–780.
- [4] АРТЕМЬЕВ С. С., ИВАНОВ А. А., СМИРНОВ Д. Д. Новые частотные характеристики численного решения стохастических дифференциальных уравнений // Сиб. журн. вычисл. математики. — 2015. — Т. 18, № 1, С. 15–26.

#### 1.69. Смолего И.В. Вычислительный алгоритм для реализации математической модели жидкого кристалла с помощью технологии CUDA

Разрабатывается параллельная программа с использованием технологии CUDA для численного исследования термомеханического поведения жидкого кристалла.

Математическая модель нематического жидкого кристалла содержит уравнения поступательного и вращательного движения, уравнения состояния для давления, касательного и моментных напряжений, а также уравнение анизотропной теплопроводности с переменными коэффициентами [1]. Искомые величинами являются скорости и напряжения, а также угловая скорость и температура внутри расчетной области. Задаются граничные условия в скоростях или напряжениях, либо температура на границе.

Численное решение краевых задач осуществляется с помощью метода двуциклического расщепления по пространственным переменным [2]. На каждом временном интервале расщепление включает в себя 5 этапов: решение одномерных подсистем уравнений акустики жидкого кристалла и связанных уравнений теплопроводности в направлениях  $x$  и  $y$  на полуинтервале по времени, решение системы дифференциальных уравнений для пересчета угла поворота молекул жидкого кристалла, угловой скорости и касательного напряжения по схеме Кранка—Николсон, повторное решение одномерных подсистем на втором полуинтервале.

На этапах расщепления одномерные задачи решаются с использованием конечно-разностной схемы типа «предиктор–корректор»: сначала реализуется шаг «предиктор» для подсистемы уравнений акустики, затем решается связное уравнение теплопроводности, и в заключение выполняется шаг «корректор» матричной системы, правая часть которой зависит от температуры. Конечно-разностная схема, построенная по принципу схемы Годунова [3], применяется при решении акустических уравнений, схема Иванова [4] с контролируемой диссипацией энергии — при решении уравнения теплопроводности. Температура в каждом направлении вычисляется с помощью трехточечной прогонки. Схема является неявной на шаге «предиктор» и явной на шаге «корректор».

Вычислительный алгоритм реализуется в виде параллельной программы на языке Си по технологии CUDA, позволяющей использовать графические ускорители видеокарт. Графическое устройство содержит большое количество нитей, каждой нити ставится в соответствие ячейка разностной сетки. Нити параллельно выполняют однотипные операции в ячейках по расчету решения на этапах расщепления. Этапы метода расщепления выполняются последовательно.

Исследована эффективность параллельной программы. Выполнены тестовые расчеты при разных размерностях сетки. В расчетах зафиксировано ускорение работы параллельной программы примерно в 25 раз по сравнению с последовательной версией. Проведены расчеты динамического деформирования жидких кристаллов при слабых механических и температурных воздействиях, демонстрирующие работу параллельной программы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-01-00130).*

#### Список литературы

- [1] Садовский В. М., Садовская О. В. Об акустическом приближении термомеханической модели жидкого кристалла // Физическая мезомеханика. — 2013. — Т. 16, № 3, С. 55–62.
- [2] Марчук Г. И. Методы расщепления / М.: Наука, 1988. — 263 с.
- [3] Годунов С. К., Забродин А. В., Иванов М. Я., Крайко А. Н., Прокопов Г. П. Численное решение многомерных задач газовой динамики / М.: Наука, 1976. — 400 с.
- [4] Иванов Г. В., Волчков Ю. М., Богульский И. О., Анисимов С. А., Кургузов В. Д. Численное решение динамических задач упругопластического деформирования твердых тел / Новосибирск: Наука, Сиб. ун-в. изд-во, 2002. — 352 с.

#### 1.70. Степанова И. В. Структура катящихся волн в двухслойном течении Хеле–Шоу

Достаточно широкий класс течений неоднородных жидкостей в протяженных каналах допускает воз-

никновение нелинейного режима, соответствующего катящимся волнам (близкое к периодическому течение, где плавные участки разделены обрушивающимися гидравлическими прыжками [1]). Особенностью таких течений является переход от докритического течения к сверхкритическому в системе координат, движущейся вместе с волной. Несмотря на давние интенсивные исследования в этой области, остается множество открытых вопросов, таких как развитие волнового течения из малых естественных возмущений, устойчивость катящихся волн, эффекты влияния стенок канала и физических свойств жидкости на описываемые режимы и другие.

Рассматривается нелинейная математическая модель движения вязкой стратифицированной жидкости в ячейке Хеле–Шоу [2]. Основное внимание уделяется анализу возникновения режима катящихся волн в двухслойном течении в поле силы тяжести. Исследуются случаи горизонтальной и вертикальной геометрии канала. С помощью методов, описанных в [3], найдены критические скорости течения в слоях и критическая глубина, при которых возможно возникновение изучаемого режима. Проведено численное моделирование процесса образования катящихся волн на основе двумерной гиперболической модели. Основное внимание уделяется наблюдению за положением границы раздела двух слоев жидкости, ее переходу от устойчивого состояния в волновой режим и последующее развитие полученного возмущения. Для расчетов используются параметры, входящие в области устойчивости, определенные аналитически.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-31-51264).*

#### Список литературы

- [1] Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. / М.: Мир, 1977.
- [2] CHESNOKOV A. A., STEPANOVA I. V. Stability analysis of shear flows in a Hele–Shaw cell // Appl. Math. Computat. — 2015. — V. 265, P. 320–328.
- [3] Ляпидевский В. Ю., Тешуков В. М. Математические модели распространения длинных волн в неоднородной жидкости. / Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.

#### 1.71. Стрельников Р. В., Ларичкин А. Ю. Деформирование гофрированной оболочки

Задача оптимизации формы гофрированной оболочки по ряду геометрических и силовых параметров важна для многих областей техники. Компенсаторы деформаций на трубопроводах, которыми и являются гофрированные оболочки вращения, работают при циклических нагрузках и поэтому основными параметрами для оптимизации являются прочностные свойства материала, из которого они изготовлены, форма гофры и число циклов до разрушения при заданном типе нагрузки. В рамках этой задачи нахождение

напряженно-деформированного состояния при работе оболочки в упругой области доработан метод расчета жесткости и напряжений в сильфонах и предложена его модернизация. Написана программа РС-У, позволяющая определить напряженно-деформированное состояние в сильфоне при различных параметрах геометрии, материала и типа нагружения (давление, осевое усилие) или (давление, осевое перемещение). Программа определяет осевую жесткость сильфона, эффективную площадь, НДС, коэффициент запаса. Проведено сравнение данных расчета по программе РС-У с результатами эксперимента и с конечно-элементным расчетом, которое показало удовлетворительное соответствие результатов.

### 1.72. Трубочева О.С. Построение расчетных секток при решении обратных задач вызванной поляризации

В работе рассматривается автоматическое построение расчетной сетки, используемой при решении прямых трехмерных задач, возникающих в процессе 3D-инверсии данных, полученных методом вызванной поляризации (ВП). Под 3D-инверсией данных подразумевается восстановление границ и параметров поляризации аномальных по поляризуемости трехмерных структур по измеренному на поверхности земли полю ВП. Положение искоемых трехмерных объектов в исследуемой области определяется с помощью минимизации суммы квадратов отклонений измеренных значений поля ВП от рассчитанных теоретически. Для теоретического расчета значений поля ВП используется метод, предложенный в работе [1] и используемый в работе [2]. Этот метод позволяет значительно сократить вычислительные затраты, по сравнению с другими существующими методами, но и он требует решения ряда прямых задач большой размерности. Вычислительная схема решения данных прямых задач базируется на использовании метода конечных элементов, поэтому оптимальность и точность их решения напрямую зависит от способа построения расчетной сетки [3]. В данной работе рассматривается разложение решения прямой задачи на двумерную осесимметричную составляющую (используется двумерная сетка со сгущением к источнику) и трехмерную составляющую (используется трехмерная сетка со сгущением к трехмерным аномальным по проводимости структурам).

*Научный руководитель — д.т.н. Персова М.Г.*

### Список литературы

- [1] МОИСЕЕВ В. С., РОЯК М. Э., СОЛОВЕЙЧИК Ю. Г. Математическое моделирование процессов вызванной поляризации в сложных средах для токовой линии с заземленными электродами. // Сибирский журнал индустриальной математики. — 1999. — Т. II, № 1, С. 19–94.
  - [2] ПЕРСОВА М. Г., СОЛОВЕЙЧИК Ю. Г., ТРИГУБОВИЧ Г. М., ТОКАРЕВА М. Г. Методы и алгоритмы восстановления трехмерной структуры проводимости и поляризуемости среды по данным электромагнитных зондирований на основе конечноэлементного 3D-моделирования. // Физика Земли. — 2013. — №3, С. 30–45.
  - [3] СОЛОВЕЙЧИК Ю. Г., РОЯК М. Э., ПЕРСОВА М. Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. / Учебное пособие. Новосибирск: НГТУ. — 2007. — 896 с.
- 1.73. Федотенко Т.М., Беднякова А.Е., Федорук М.П. Моделирование переноса шумов в волоконных линиях связи с распределенным рамановским усилением**
- Одним из основных преимуществ распределённых рамановских усилителей по сравнению с традиционными эрбиевыми усилителями является низкий уровень шума - возможность уменьшения шум-фактора в линиях связи, что позволяет передавать сигнал на большие расстояния без его деградации. При исследовании распределённых рамановских усилителей необходимо учитывать различные источники шума, оказывающие влияние на сигнал при его распространении в линии связи. Шум, источниками которого являются обратное рэлеевское рассеяние и спонтанное рамановское рассеяние, накапливается в длинных (десятки и сотни километров) распределённых усилителях и приводит к ухудшению качества передачи сигнала. Однако, стоит отметить ещё один источник шумов в усилителях - шум источника накачки вследствие спонтанной эмиссии фотонов. Данные шумы могут передаваться от рамановского источника накачки к сигналу на длине волны стоксова сдвига, приводя к ухудшению качества передачи сигнала и необходимости уменьшения длины световода. Так, использование распределённых рамановских усилителей с двунаправленной накачкой позволяет значительно увеличить расстояние передачи сигнала, но они практически не используются в современных линиях связи из-за высокой эффективности переноса шумов из накачки в сигнал. Данная работа посвящена исследованию переноса шумов в распределённых рамановских усилителях с помощью методов математического моделирования. Для описания распространения сигнала в волоконном световоде были выбраны две математические модели – стандартная квазимонохроматическая модель, и обобщенное стохастическое нелинейное уравнение Шрёдингера. Квазимонохроматическая модель описывается системой ОДУ (системой балансных уравнений). Решение данной системы находилось с помощью конечно разностной схемы с бегущим счетом. На основе квазимонохроматической модели была решена задача о переносе шумов в резонаторе волоконного рамановского лазера. Было продемонстрировано,

что частота модуляции шума оказывает значительное влияние на перенос шумов из накачки в сигнал. На основе нелинейного уравнения Шрёдингера была разработана численная модель, в которую включены различные источники шума - спонтанный шум и шум источника накачки. Для решения обобщенного стохастического нелинейного уравнения Шрёдингера был реализован Фурье метод с расщеплением по физическим процессам в симметричной схеме расщепления. В результате численного анализа было продемонстрировано влияние шума накачки на сигнал, а так же генерация суперконтинуума в волкне с высокой нелинейностью.

#### 1.74. Филина М.П. Циркуляционное течение нелинейновязкой жидкости в канале одношнекового экструдера

Движение полимерной среды в канале одношнекового экструдера моделируется течением жидкости в длинном прямоугольном канале с движущейся с постоянной скоростью верхней стенкой [1]. При построении математической модели течения вводится ряд упрощающих предположений: жидкость несжимаемая, нет проскальзывания жидкости на стенках, массовые силы пренебрежимо малы, течение полностью установившееся, шнековый канал разворачивается на плоскость и используется принцип обращенного движения [1]. Кроме этого предполагается, что глубина канала шнека меньше его ширины, что позволяет пренебречь циркуляционной составляющей течения.

Настоящая работа посвящена определению отношения ширины к глубине канала шнека экструдера  $W$ , при котором данное пренебрежение является обоснованным. Для этого рассматривается задача о ползущем течении полимерной среды поперек канала шнека, верхняя стенка которого движется с постоянной скоростью в горизонтальном направлении. Полимерная среда считается неньютоновской жидкостью, реологическое поведение которой описывается степенным законом. Математическая постановка задачи включает уравнения Стокса в приближении ползущего течения и уравнение неразрывности. Граничные условия состоят в задании компонент вектора скорости на стенках канала.

Приводится методика получения приближенного решения для профиля циркуляционной составляющей вектора скорости без учета влияния боковых стенок. Достоверность полученного решения подтверждается сравнением с данными, представленными в литературе [1, 2]. Для численного решения с учетом влияния боковых стенок используется непрямой метод граничных элементов. Проведено сравнение профилей циркуляционной составляющей вектора скорости, полученных в результате численного решения и приближенно при различных значениях  $W$  для ряда значений показателя нелинейности. Отклонение приближенного решения от

численного рассчитано в норме  $L_2$ . Построена зависимость данного отклонения от  $W$ . Определено отношение ширины к глубине канала шнека экструдера, при котором возможно пренебрежение циркуляционной составляющей течения.

#### Список литературы

- [1] Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. Москва: Химия. — 1984.
- [2] Янков В. И., Боярченко В. И., Первадчук В. П. Переработка волокнообразующих полимеров. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». — 2005.

#### 1.75. Финкельштейн Е.А. Вычислительные технологии аппроксимации множеств достижимости для гладких и разрывных систем

В докладе рассматривается задача построения аппроксимации множества достижимости (МД) нелинейных динамических систем, в том числе с разрывами в правых частях, зависящими от фазовых переменных. Авторами предложен набор алгоритмов, направленных на получение внешних и внутренних оценок, а также аппроксимаций границы МД. Наиболее надежным методом, дающим внутреннюю оценку, является метод стохастической аппроксимации, основанный на идее мультистарта. Такой подход позволяет решать задачи с непрерывными, импульсными и константными управлениями, задачи с гистерезисом. Другой класс разработанных алгоритмов позволяет получить внутренние оценки в виде набора достижимых точек, которые заполняют объем МД квазиравномерно и в отличие от метода стохастической аппроксимации полученное облако точек равномерно (с некоторой точностью) аппроксимирует множество уже при небольшом количестве точек. Предлагаемые для этого алгоритмы требуют многократного решения вспомогательных задач оптимизации. При построении алгоритма аппроксимации границы МД учитывается специфика двумерной задачи (граница есть плоская кривая), строится детерминированный алгоритм последовательного выбора начальных точек для сопряженной системы со сферы единичного радиуса. При этом аппроксимирующие точки границы МД находятся последовательно, дополнительные процедуры верификации позволяют получить границу в виде правильного многоугольника. Другим более универсальным методом является метод максимизации площади ограничиваемой кусочнолинейным контуром, все вершины которого являются достижимыми точками. В случаях, когда построение границы множества не представляется возможным, применяются технологии внешних оценок. Предложен алгоритм аппроксимации МД объединением эллипсов или шаров основанный на решении задачи минимизации, результатом работы которого является покрытие, включающее все найденные

методом стохастической аппроксимации точки МД, и имеющее минимальную площадь.

Оказалось возможным адаптировать алгоритмы стохастической, равномерной и квазиравномерной аппроксимации для построения МД систем с разрывными правыми частями. Для построения граничных аппроксимаций МД систем с разрывами в правых частях типа сигнума предложено использовать непрерывное приближение вида

$$\text{sign}(x) \approx \frac{\pi}{2} \arctan(px), \quad p = \{10, 100, 1000, \dots\}.$$

Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили принципиальную работоспособность предложенных подходов и позволили оценить области применения реализованных алгоритмов.

### 1.76. Хегай Е.И. Численное решение задачи о течении неньютоновской жидкости в канале с внезапным расширением

Рассматривается установившееся течение неньютоновской жидкости в плоском канале с внезапным расширением. Течение описывается системой, состоящей из уравнений движения и неразрывности. Для описания реологических свойств жидкости использовались две модели: Оствальда—де Вилия и Шведова—Бингама. Жидкость подается через входное сечение с постоянным расходом. В этом случае профиль скорости совпадает с профилем, характерным для установившегося течения соответствующей жидкости в плоском бесконечном канале. В выходном сечении используются «мягкие» граничные условия. На твердых границах выполняются условия прилипания, на плоскости симметрии — условие симметрии. Отметим, что входные и выходные границы находятся на достаточном удалении от уступа во избежание влияния последнего на характер течения в окрестностях этих границ. Решение поставленной задачи сводится к отысканию стационарных полей скорости и давления, а так же распределения изолиний функции тока, иллюстрирующих картину течения.

Задача решается численно с помощью конечно-разностного метода. Для нахождения стационарных полей скорости и давления в расчетных узлах разнесенной сетки используется метод установления и алгоритм SIMPLE. С целью ускорения расчета применяется технология параллельных вычислений MPI. В ходе работы были проведены исследования от основных параметров задачи: числа Рейнольдса, степени нелинейности (для жидкости Оствальда—де Вилия), пределе текучести (для жидкости Шведова—Бингама).

Показано, что с уменьшением степени нелинейности вязкость в циркуляционной зоне увеличивается, что приводит к уменьшению интенсивности течения и увеличению размера этой зоны. Установлено, что зависимость длины циркуляционной зоны от

числа Рейнольдса и от степени нелинейности жидкости достаточно хорошо аппроксимируется линейной функцией в исследованных диапазонах значений параметров. Построены распределения зон квазитвердого движения в зависимости от предела текучести.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №15-08-03935).*

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Е. И. Борзенко.*

### 1.77. Ченцов Е.П. Моделирование колебательных процессов в средах с блочной микроструктурой

Работа посвящена исследованию резонансных явлений в слоистых и блочных средах с помощью дискретных и непрерывных моделей. Вычислены собственные частоты в случае продольных и вращательно-поперечных колебаний в моноатомной цепочке, имитирующей слоистую среду. Рассмотрены различные типы граничных условий.

Для исследования поведения системы в окрестностях найденных резонансных частот строится спектральный портрет [1], позволяющий не только визуально отделить собственные частоты, но и проанализировать изменение амплитудного вектора в их окрестности.

В случае продольных колебаний установлено, что при увеличении числа блоков в слое (цепочке) резонансные частоты стремятся к собственным частотам продольных колебаний однородного упругого стержня с граничными условиями, соответствующими способу закрепления цепочки. Данные частоты зависят не только от механических параметров системы, но и от размера цепочки. Построенные спектральные портреты указывают на примерно одинаковую степень достижимости резонансной частоты.

При вращательно-поперечных колебаниях дискретной цепочки возникает не только система резонансных частот, зависящих от числа элементов в цепочке, но и характерная частота вращательного движения  $\omega_0$ . Показано, что в предельном переходе при стремлении длины цепочки к бесконечности  $\omega_0$  — единственная собственная частота, связанная с вращательным движением элементов. Анализ построенного спектрального портрета показал, что при приближении к частоте  $\omega_0$  амплитуды колебаний нарастают примерно в той же степени, что и при приближении к другим резонансным частотам.

Уравнения поперечно-вращательных колебаний в пределе для бесконечной (плотной) цепочки переходят в одномерные дифференциальные уравнения континуума Коссера. Резонансные свойства континуума Коссера на основе модели пространственно-напряженно-деформированного состояния изучались в работах [2].

Было установлено, что в моментной среде существует резонансная частота, связанная с вращательным

движением частиц, которая не зависит от размеров области и типа граничных условий на ее границе.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-01-00130).*

#### Список литературы

- [1] Годунов С. К. Современные аспекты линейной алгебры. / Новосибирск: Научная книга, 1997. — 284 с.
- [2] SADOVSKAYA O., SADOVSKII V. Mathematical Modeling in Mechanics of Granular Materials. Ser.: Advanced Structured Materials. Vol. 21 / Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. — 390 p.

#### 1.78. Черкашина Ю.А. Диагностирование функционального состояния организма с использованием искусственных нейронных сетей

В настоящее время пристальное внимание врачей уделяется улучшению состояния здоровья нации в целом и рождающего поколения в частности. Самым важным периодом в жизни ребенка, когда закладывается его физическое и психическое здоровье, предрасположенность к различным заболеваниям, является неонатальный период (от 0 до 10 дней). Поэтому актуальными являются задачи оценки состояния здоровья детей именно в этот период. Задачу диагностики функционального состояния организма ребенка можно рассмотреть как математическую задачу. Имеем вектор  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где  $x_i$  — показатели, характеризующие функциональное состояние организма ребенка,  $n$  — количество учитываемых показателей. Каждый ребенок относится к одному из 2-х непересекающихся классов  $m = 2$  (диагнозов): здоровые и больные. Предположим, что каждый класс описывается  $n$  характеристическими признаками, которые представляют собой набор показателей. По результатам обследования 102 детей формируется выборка, которая разделена на 2 класса (диагноза): здоровые (71 ребенок) и больные (31 ребенок). Задача заключалась в обучении нейронной сети с 14 входами, представляющими собой медицинские показатели (показатели гемостаза, анализа крови, срок гестации и ВЕГФ), и 1 выходом, который определяет диагноз. В работе используется модель трехслойной нейронной сети. В качестве обучающего алгоритма выбран алгоритм обратного распространения ошибки, а в качестве функции активации использована сигмоидальная функция, имеющая достаточно простую производную и являющаяся всюду дифференцируемой. Точность работы нейронной сети составляет 97,1 %. Практически нулевая ошибка достигается за 15 циклов обучения, средняя квадратическая ошибка тестовой выборки составляет 0,004. Использование нейросетевых технологий вносит существенный вклад в развитие доказательной медицины. Полученные результаты на основе предложенных подходов дают возможность при оценке функционального состояния здоровья ребенка и корректировке про-

граммы лечения опираться не только на знания и интуицию врача, но и на доказательные выводы.

#### Список литературы

- [1] ГЕРГЕТ О.М., КОЧЕГУРОВ А.И. Использование энергетических и информационных показателей в оценке состояния функционирования медицинских систем // Томск: Известия Томского политехнического университета, 2012. — Т. 321, №5, С. 117–120.
- [2] СТЕПАНОВА Е.И., НАРЦИССОВ Р.П., КОЧЕГУРОВ В.А., КОНСТАНТИНОВА Л.И. Прогнозирование здоровья детей раннего возраста /Томск: Изд-во Том. ун-та, 1987. — 160 с.
- [3] ДЕВЯТЫХ Д.В., ГЕРГЕТ О.М., МИХАЛЕНКО И.В. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования развития перинатального поражения нервной системы // Известия ВолГТУ. — 2013. — № 8(111).
- [4] ЧЕРКАШИНА Ю.А. Применение математических методов в задаче диагностики состояния здоровья детей первого года жизни // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 5, С. 34–37.

#### 1.79. Чеховской И.С., Рубенчик А.М., Федорук М.П., Турицын С.К., Штырина О.В. Нелинейное сжатие и сложение оптических импульсов в многоядерных волноводах

На данный момент кроме технологий линейного сложения энергии импульсов [1] существуют методы нелинейного сложения, например с помощью массивов волноводов [2]. В работе [3] нами была продемонстрирована возможность нелинейного сжатия и сложения оптических импульсов в многоядерных волноводах (МСФ). Описание динамики огибающих оптического поля в МСФ проводилось с помощью системы нелинейных уравнений Шредингера (НУШ):

$$i \frac{\partial A_k}{\partial z} = \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A_k}{\partial t^2} - \gamma |A_k|^2 A_k - \sum_{m=1}^N C_{k,m} A_m, \quad (1)$$

где  $N$  — число ядер. Для численного решения системы (1) была разработана модификация метода Фурье расщепления по физическим процессам [4].

На примере МСФ с круговым расположением ядер было показано, что до 80% энергии оптических импульсов, введенных во все ядра, может быть сконцентрировано только в одном ядре, причем временная длительность импульса в этом ядре сокращается в 17 раз.

В нашем сообщении мы представим результаты по изучению нелинейного сжатия и сложения при помощи МСФ с ядрами, расположенными в узлах квадратной и гексагональной решеток. Такие МСФ обладают более сильными возможностями для сжатия импульсов. Будет проведено сравнение этих многоядерных волокон с волокнами с круговой конфигурацией.

В сообщении будут представлены результаты поиска оптимальных параметров вводимых в каждое ядро Гауссовских импульсов, при которых достигается наилучшее сжатие импульса, а также рассмотрен эффект влияния случайных флуктуаций фаз импульсов и временных задержек между импульсами на процесс сжатия. Отдельно будут рассмотрены численные методы, примененные для решения системы НУШ (1).

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант No. 14-21-00110) и Европейского офиса аэрокосмических исследований и развития (грант FA9550-14-1-0305). Работа выполнена частично при содействии Министерства энергетики США и Ливерморской национальной лаборатории (контракт DE-AC52-07NA27344).*

#### Список литературы

- [1] T. Y. FAN. Laser beam combining for high-power, high-radiance sources // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. — 2005. — Vol. 11, No 3, P. 567–577.
- [2] A. B. ACEVES, G. G. LUTHER, C. DE ANGELIS, A. M. RUBENCHIK, AND S. K. TURITSYN. Optical Pulse Compression Using Fiber Arrays // Optical Fiber Technology. — 1995. — Vol. 1, No 3, P. 244–246.
- [3] A. M. RUBENCHIK, I. S. СНЕКНОВСКОУ, M. P. FEDORUK, O. V. SHTYRINA, AND S. K. TURITSYN. Nonlinear pulse combining and pulse compression in multi-core fibers // Optics Letters. — 2015. — Vol. 40, No 5, P. 721–724.
- [4] Чеховской И.С. Использование аппроксимации Паде для решения систем нелинейных уравнений Шредингера с помощью метода расщепления по физическим процессам // Вычислительные технологии. — 2015. — Т. 20, № 3, С. 99–108.

#### 1.80. Шестаков В.В., Степанов Д.Ю. Гео статистическое моделирование свойств геологических сред по данным наземной и скважинной сейсморазведки

На сегодняшний день наиболее распространенным методом исследования строения земли является сейсморазведка, включающая в себя методы ГИС (геофизическое исследование скважин) и ряд наземных методов. Методы ГИС позволяют получать наиболее подробную картину строения околоскважинного пространства, в том числе информацию о фильтрационно-емкостных свойствах (ФЕС) среды [1]. Однако, исследуемые площади имеют слишком малое количество скважин для построения детальной модели неоднородной анизотропной среды. В свою очередь наземные методы сейсморазведки имеют хорошую сетку наблюдений и могут быть использованы для изучения больших площадей [2]. С помощью наземных методов измеряются упругие колебания – волны, прошедшие, отраженные, преломленные и т.п. в геологической среде. Они несут лишь косвенную информацию о ФЕС.

В такой постановке задача трехмерного моделирования ФЕС среды относится к задачам интерполяции данных ГИС, заданных на неравномерной сетке [3]. Наиболее эффективное решение этой задачи ищется путем применения геостатистического моделирования [4]. В работе показана модель, базирующаяся на исследовании статистических связей данных ГИС и атрибутов данных наземной сейсморазведки. На примере реальных материалов, показана эффективность разработанной модели.

#### Список литературы

- [1] Косков В. Н . Геофизические исследования скважин. / Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2004. — 122 с.
- [2] Урупов А. К . Основы трехмерной сейсморазведки. / Москва: Нефть и газ, 2004. — 584 с.
- [3] Бахвалов Ю. Н . Многомерная интерполяция и аппроксимация на основе теории случайных функций. / Череповец: ИМИТ СПбГПУ, 2009.
- [4] Демьянов В. В. , Савельева Е. А. Гео статистика. Теория и практика. / Москва: Наука, 2010. — 327 с.

#### 1.81. Штука В.И. Математическое моделирование взаимодействия плоской продольной ударной волны с границей раздела двух нелинейноупругих сред

Распространение ударных возмущений в твердых телах является высокоскоростным и нелинейным процессом, моделирование которого, как правило, сопровождается значительными математическими трудностями. Исследование таких явлений проводится с привлечением специального математического аппарата и вычислительных схем решения крайних задач.

1. *Постулирование определяющих соотношений* основано на совокупности законов сохранения в их локальной дифференциальной формулировке, кинематических и геометрических зависимостей, связывающих параметры движения точек среды. Механические свойства определяются упругим потенциалом изотропной среды.

2. *Анализ свойств разрывных решений системы определяющих уравнений* проводится с привлечением математического аппарата теории особых движущихся поверхностей [1]. Характер поверхностей разрывов деформаций можно определить только непосредственно при решении краевой задачи.

3. *Постановка автомодельной краевой задачи.* Плоская ударная волна сжатия выходит под некоторым ненулевым углом из полупространства I на границу раздела с полупространством II. Сопряженные материалы имеют различные механические параметры (плотность и набор упругих модулей). Параметры падающей волны (скорость, интенсивность и угол падения) полагаются постоянными. В результате такого воздействия в сопряженных материалах возникают два вторичных волновых пакета – отраженный в среде I и преломленный в среде II. Результаты этапов 1 и 2 позволяют утверждать,

что передним фронтом в преломленном пакете всегда будет продольная ударная волна. Это объясняется отсутствием предварительных деформаций перед преломленным пакетом в среде II.

4. *Вычислительный алгоритм.* Для определения изменения полей деформаций и напряжений, которые несут отраженный и преломленный волновые пакеты, использовалась вычислительная схема, подобная описанной в [2]. Критериями выбора типа волн, включенными в схему, были проверки эволюционности и условия неубывания энтропии на ударной волне [3].

5. *Вычислительные эксперименты* были проведены для различных комбинаций сопряженных материалов (сталь, стекло, алюминий). В результате были получены все возможные варианты отраженных и преломленных волновых картин с ударными и простыми волнами. Установлено, что характер возникающих волновых фронтов зависит как от параметров падающей волны, так и от механических свойств материалов I и II (особенно от величин упругих модулей третьего порядка).

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Дудко О.В.*

#### Список литературы

- [1] Бленд Д. Нелинейная динамическая теория упругости / М.: Мир, 1972.
- [2] Буренин А. А., Дудко О. В., Потянихин Д. А. О соударении двух упругих тел с плоскими границами // Вычисл. механика сплошных сред. — 2013. — Т. 6, № 2, С. 157–167.
- [3] Куликовский А. Г., Свешникова Е. И. Нелинейные волны в упругих средах. / М.: Московский лицей, 1998.

#### 1.82. Щербачков П.К. Численное моделирование течений в гидротурбине с использованием модели «вода-пар-воздух»

В гидравлических турбинах часто возникают кавитационные явления. Они оказывают негативные эффекты на конструкцию, снижают КПД, вызывают шумы и вибрации. Так же наличие кавитационных каверн является причиной возникновения низкочастотных пульсаций, распространяющихся по всему проточному тракту ГЭС [1]. На сегодняшний день одним из наиболее распространенных способов борьбы с повышенными пульсациями является выпуск воздуха под рабочее колесо гидротурбины. Настоящая работа посвящена моделированию этого процесса.

Математическая модель состоит из уравнений Навье—Стокса сжимаемой смеси «жидкость-пар-воздух», уравнения переноса объемной доли жидкости с источниками членами, отвечающими за конденсацию и парообразование, а также уравнения переноса объемной доли воздуха. Замыкается система при помощи  $k - \epsilon$  модели турбулентности Кима—Чена.

Численный алгоритм основан на методе искусственной сжимаемости и неявном методе конечных объемов, аналогичном [2, 3]. Для аппроксимации невязких потоков использовалась MUSCL схема третьего порядка. Вязкие потоки аппроксимировались при помощи центрально-разностной схемы второго порядка.

Исследовано влияние скорости впуска воздуха на картину течения в отсасывающей трубе. Результаты стационарных и нестационарных расчетов позволяют говорить о том, что при помощи впуска воздуха под рабочее колесо гидротурбины можно контролировать интенсивность кавитации. При расходе воздуха порядка 1% от расхода воды через гидротурбину кавитация исчезает. При этом существенно снижаются пульсации давления.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Чирков Д.В.*

#### Список литературы

- [1] Chirkov D., Cherny S., Scherbakov P., Zhanarov A. Evaluation of range of stable operation of hydraulic turbine based on 1D–3D model of full load pulsations // Proceedings of 6-th IAHR Working Group «Cavitation and dynamic problems», Ljubljana, Slovenia: Faculty of Technologies and Systems. — 2015. — P. 177–184.
- [2] Черный С.Г., Чирков Д.В., Лапин В.Н., Скороспелов В.А., Шаров С.В. Численное моделирование течений в турбомашинах / Новосибирск: Наука, 2006.
- [3] Kunz R., Boger D., Stinebrink D., et al. A preconditioned Navier-Stokes method for two-phase flows with application to cavitation prediction // Computers & Fluids. — 2000. — No 29, P. 849–875.

#### 1.83. Эбель А.А. О сходимости численного метода решения задач смешанного управления для систем леонтьевского типа

Рассмотрим задачи смешанного управления для систем леонтьевского типа

$$L\dot{x}(t) = Mx(t) + Bu(t) + y(t) \quad (1)$$

с начальным условием Шоултера—Сидорова

$$[R_\mu^L(M)]^{p+1} (x(0) - u_0) = 0. \quad (2)$$

Пусть функции  $x(t)$ ,  $u(t)$ ,  $y(t)$  лежат в гильбертовых пространствах  $\mathfrak{X}$ ,  $\mathfrak{U}$ ,  $\mathfrak{Y}$  соответственно. Будем рассматривать операторы  $M$  и  $L$ , причем  $L \in \mathcal{L}(\mathfrak{X}, \mathfrak{Y})$  ( $\mathcal{L}(\mathfrak{X}, \mathfrak{Y})$  — множество линейных непрерывных операторов, действующих из пространства  $\mathfrak{X}$  в пространство  $\mathfrak{Y}$ ),  $\ker L \neq \{0\}$ ;  $M \in Cl(\mathfrak{X}; \mathfrak{Y})$  (замкнутый оператор  $M : dom M \rightarrow \mathfrak{Y}$  с областью определения, плотным в  $\mathfrak{X}$ );  $B \in \mathcal{L}(\mathfrak{U}, \mathfrak{Y})$ . Кроме того, оператор  $M$  сильно  $(L, p)$ -радиален.

Введем в рассмотрение пространства состояний и управлений:

$$H^1(\mathfrak{X}) = \{x \in L_2((0; \tau); \mathfrak{X}) : \dot{x} \in L_2((0; \tau); \mathfrak{X})\};$$

$$\begin{aligned} \mathfrak{U} &= H^{p+1}(\mathfrak{D}) = \\ &= \left\{ u \in L_2((0; \tau); \mathfrak{D}) : u^{(p+1)} \in L_2((0; \tau); \mathfrak{D}) \right\}, \\ \mathfrak{U}^0 &= \mathfrak{D}. \end{aligned}$$

При этом

$$J(v_0, v) = \min_{(u_0, u) \in \mathfrak{U}_{ad}^0 \times \mathfrak{U}_{ad}} J(u_0, u), \quad (3)$$

$$\begin{aligned} J(u_0, u) &= \alpha \sum_{q=0}^1 \int_0^\tau \left\| Cx^{(q)}(u_0, u, t) - Cx_0^{(q)}(t) \right\| dt + \\ &+ \beta \sum_{q=0}^\theta \int_0^\tau \left\langle N_q u^{(q)}, u^{(q)} \right\rangle dt + \gamma \|u_0\|^2, \quad (4) \end{aligned}$$

где  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ,  $\theta = 0, 1, \dots, p+1$ ,  $p \in \{0\} \cup \mathbb{N}$ ,  $t \in (0; \tau)$ ,  $\tau \in \mathbb{R}_+ = \{\tau \in \mathbb{R}, \tau > 0\}$ ,  $N_q \in \mathcal{L}(\mathfrak{U})$  – положительно определенные и самосопряженные операторы [1].

Обозначим  $(w, x(w, t))$  точным решением, а  $(\tilde{w}_k^\ell, \tilde{x}_k^\ell(\tilde{w}_k^\ell, t))$  – приближенное решение задачи смешанного управления.

**Теорема.** Пусть матрица  $M(L, p)$ –регулярна,  $p \in \{0\} \cup \mathbb{N}$ ,  $\det M \neq 0$ . Функционал (4) является непрерывным, сильно выпуклым, ограниченным на выпуклом компактном множестве  $\mathfrak{U}$ . Пусть  $(w, x(w, t))$  – точное, а  $(\tilde{w}_k^\ell, \tilde{x}_k^\ell(\tilde{w}_k^\ell, t))$  – приближенное решение задачи смешанного управления (1) – (4). Тогда последовательность  $\{\tilde{w}_k^\ell\}$  сходится к  $\{w\}$  по норме  $\mathfrak{U}$ , последовательность  $\{\tilde{x}_k^\ell\}$  сходится к  $x(w)$  по норме  $\mathcal{X}$  при  $k \rightarrow \infty$ ,  $\ell \rightarrow \infty$  так, что  $J_k(\tilde{w}_k^\ell) \rightarrow J(w)$ , причем выполняется неравенство

$$q \|\tilde{w}_k^\ell - w^\ell\|^2 \leq J_k(\tilde{w}_k^\ell) - J(w).$$

#### Список литературы

- [1] KELLER A. V., EBEL A. A. The existence of a unique solution to a mixed control problem for Sobolev-type equations // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2014. – Т. 7, № 3, С. 121–127.

#### 1.84. Юшко О.В. Моделирование шума усилителей в нелинейном режиме распространения оптического сигнала в волоконных линиях связи

В настоящее время волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) получили широкое применение: от передачи информации на трансокеанские расстояния до локальных домашних сетей. Именно развивающиеся технологии ВОЛС обеспечивают экспоненциальный рост скорости передачи информации последние десятилетия [1]. Изучение свойств волоконных систем является важной и актуальной задачей.

Поскольку проведение натуральных экспериментов является дорогостоящим процессом, в задачах телекоммуникационных технологий все большее значение приобретает математическое моделирование. Оно позволяет оптимизировать параметры передачи сигнала, максимизировать дальность и скорость передачи информации [2]. В частности, одной из важных задач является валидация математических моделей шума усилителей – необходимого элемента реальных волоконных систем.

В работе рассмотрена модель шума непрерывного Рамановского усилителя (ВКР-усилитель) в дисперсионных и солитонных ВОЛС. Распространение оптического сигнала моделировалось на основе обобщенного нелинейного уравнения Шредингера при помощи Фурье-метода расщепления по физическим процессам 2-го порядка точности. Было показано, что для дисперсионных ВОЛС точность моделирования системы определяется вкладом нелинейных эффектов: численный расчет необходимо проводить с тем меньшим шагом, чем выше вклад нелинейных эффектов. В солитонных ВОЛС точность описания системы зависит от мощности импульсов и межсолитонного взаимодействия. С ростом мощности солитонных импульсов необходимо брать меньший численный шаг по пространству.

#### Список литературы

- [1] RICHARDSON D. J. Filling the light pipe // Science – 2010. – Vol. 330, P. 327–328.  
[2] YUSHKO O.V., NANI O.E., REDYUK A.A., TRESHCHIKOV V.N., FEDORUK M.P. Numerical simulation of current experimental 100 Gbit/s DWDM communication lines // Quantum Electronics. – 2015. – Vol. 45(1), P. 75–77.  
[3] ESSIAMBRE R.-J., KRAMER G., WINZER P.J., FOSCHINI G.J. Capacity limits in optical fiber networks // Journal of Lightwave Technology. – 2010. – Vol. 28(4), P. 662–701.

## 2. Информационные технологии

### 2.1. Ахташев Р.В. Разработка программного обеспечения для оптимизации радиопокрытия сети LTE

Высокое качество обслуживания абонентов мобильной связи и широкий спектр предоставляемых услуг невозможны без качественного автоматизированного планирования и оптимизации сетей LTE [1]. В основе планирования лежат эмпирические модели распространения сигнала, описывающие поведение сигнала при распространении. Проблема заключается в том, что используемые эмпирические модели, такие как COST-231 Hata, модель Ли и др., создавались для определенных городов, архитектурно и климатически отличающихся от городов и местности России [2]. В результате, возникают неточности в расчетах при проектировании сети. Операторы вынуждены проводить регулярные драйв-тесты для определения истинных значений уровня сигнала и выполнять необходимые корректировки ключевых параметров. Но драйв-тесты также не могут обеспечить необходимую точность, так как проводятся по конкретному маршруту, не учитывая многих ключевых факторов, таких как уровень сигнала в здании, на крыше, во дворе и т. д.

Основной задачей данной работы является разработка методики автоматической корректировки эмпирических моделей с помощью мобильного приложения, которое позволит в реальном времени и практически в любом месте собирать системную информацию о сети LTE, такую как среднее значение пилотных сигналов (RSRP), качество принятых пилотных сигналов (RSRQ) [3]. Дальнейшая обработка и визуализация статистической информации. Вычисление корректирующих коэффициентов для эмпирических моделей распространения радиосигнала в условиях определенной застройки и местности.

Разработанное мобильное приложение позволяет собирать системную информацию сети LTE и сохранять в виде статистики с учетом времени и местоположения устройства. Было разработано программное обеспечение, позволяющее обрабатывать информацию, полученную с мобильного устройства, и в дальнейшем визуализировать ее на сервере.

Была рассчитана зона покрытия базовой станции на основе эмпирической модели распространения сигнала COST-231 Hata (1). Использовались теоретические параметры для расчета бюджета канала. Математическая формула модели записывается следующим образом:

$$L_p = -K_1 - K_2 \log(f) + 13.82 \log(h_{bs}) + a(h_m) - [49.9 - 6.55 \log(h_{bs})] \log R - K_0, \quad (1)$$

где  $L$  — потери (в dB);  $F$  — несущая частота (в мега-

герцах);  $h_{bs}$  — высота антенны (в метрах) БС;  $h_m$  — высота антенны АС (в метрах);  $R$  — расстояние (в км) между АС и БС. Зона покрытия при заданных параметрах составила 857 метров. Также был проведен эксперимент, в ходе которого была получена информация о распределении уровня принимаемого сигнала. В результате обработки и анализа данных был вычислен корректирующий коэффициент для эмпирической модели распространения сигнала COST-231 Hata, равный 13.3 dBm. Радиус зоны покрытия базовой станции сети LTE с учетом корректирующего коэффициента составил 368 метров, что на 54.9% меньше, чем теоретическая зона покрытия.

*Работа проводилась при поддержке гранта мэрии г. Новосибирска.*

*Научный руководитель — к.т.н. Дроздова В.Г.*

### Список литературы

- [1] RUMNEY M. LTE and the evolution to 4G wireless: Design and measurement challenges. — John Wiley & Sons, 2013.
- [2] MISHRA A.R., JOHN WILEY & SONS, LTD. Fundamentals of cellular network planning and optimisation: 2G/2.5G/3G... evolution to 4G. — John Wiley & Sons, 2004.
- [3] 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT (3GPP) TS 25.225 Physical layer, Measurements (TDD)

### 2.2. Бакиева А.М. Подходы к созданию моделей определения тем текстов на тюркских языках

Задача определения тем текстов напрямую связана с задачей автореферирования. Последняя довольно успешно может решаться при помощи тезаурусов. Можно выделить следующие новые задачи, связанные с компьютерным реферированием

1. Создание одноязычных рефератов из источников на разных языках из одного источника при наличии тезауруса;
2. Построение рефератов по гибридным источникам, включающим как текстовые, так и числовые данные в разных формах (таблицы, диаграммы, графики и т. д.);
3. Создание рефератов на основе массивов документов. Например, построение единого реферата по сборнику тезисов докладов научной конференции [2].

При создании системы определения тем текстов важным этапом является семантический анализ. Даже частичная его реализация могла бы повысить эффективность работы такой системы. В качестве инструмента, позволяющего производить синтактико-семантический анализ предложений нами был выбран Link Grammar Parser [1].

В парсере используется около 100 основных связей, некоторые из них разбиваются на 3-4 подслучая, среди них, например, выделяются такие семантические группы, как ситуационные наречия, на-

речия времени, вводные наречия и др. В процессе разбора рассматриваются все варианты связей между словами, и выбираются среди них те, которые удовлетворяют критерию проективности (связи не должны пересекаться) и критерию минимальной связности (получившийся граф должен содержать наименьшее число компонент связности). Парсер позволяет анализировать большое число конструкций, включая многочисленные редкие выражения и идиомы [3].

Точность работы Link Grammar во многом зависит от полноты подключаемых словарей. На сегодняшний день мы уже исследовали возможность подключения и создания словарей на казахском и турецком языках. Поскольку эти языки являются агглютинативными, приходится учитывать их морфологические особенности.

В настоящее время мы выделили оптимальный набор связей, подходящий для работы с тюркскими языками. Например: АІ — соединяет существительное (в роли подлежащего / дополнения) с прилагательным (в роли определения), стоящим перед ним; ЕІ — соединяет глагол с предыдущим наречием (в роли обстоятельства); ЈІ — соединяет существительное (в роли дополнения) с последующим предлогом и т. д. Но еще имеются некоторые недоработки по окончаниям и суффиксам слов.

#### Список литературы

- [1] БАТУРА Т.В., МУРЗИН Ф.А. Машинно-ориентировочные логические методы отображения семантики текста на естественном языке. — Новосибирск: Наука, 2008. — 114 с.
- [2] СОЛТОН Д.Дж. Динамические библиотечно-информационные системы. — М: «Мир», 1979. — С. 41–50.
- [3] БАТУРА Т.В., МУРЗИН Ф.А., ПЕРФИЛЬЕВ А.А., ШМАНИНА Т.В. Методы повышения эффективности поиска информации на основе синтаксического анализа: Монография. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. — 45 с.
- [4] ХАН У., МАНИ И. Системы автоматического реферирования. — Открытые системы, 2000. — 67 с.

#### 2.3. Беликова М.Ю., Кречетова С.Ю., Перельгин А.А. Применение методов кластерного анализа для обработки данных сети WWLLN

WWLLN (World Wide Lightning Location Network) — мировая сеть пунктов регистрации молниевых разрядов (атмосфериков), организованная по инициативе американского профессора Ричарда Даудена [1]. Данные сети WWLLN используются как для решения одной из фундаментальных задач классической области исследований атмосферного электричества — оценки дневных вариаций глобальной электрической цепи (ГЭЦ), так и для решения практических задач грозозащиты — построение карт пространственного распределения плотности грозовых разрядов [2].

Для исследования пространственно-временных закономерностей грозовой активности данные WWLLN представляются в избыточном виде [2, 3]. Одним из эффективных способов получения «сжатого» описания данных является кластерный анализ. Целью кластеризации данных WWLLN является выделение кластеров, которое характеризует грозовую ячейку и получение компактного (сжатого) описания множества атмосфериков на базе полученных кластеров. Выбор эффективного алгоритма кластеризации позволит представить данные сети WWLLN в виде, удобном для решения задач хранения и анализа данных.

В данной работе проведено сравнение алгоритмов кластеризации, применявшихся для кластеризации данных сети WWLLN: последовательное применение иерархического агломеративного алгоритма на основе расстояния ближайшего соседа (метод минимального локального расстояния) и модального анализа [3] и плотностный алгоритм DBScan [2]. Предлагается использование модификации алгоритма DBScan [4] для потоковой обработки новых данных в разрабатываемой геоинформационной веб-системе для сбора и анализа данных сети WWLLN.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-98024).*

#### Список литературы

- [1] DOWDEN R.L., BRUNDELL J.B., ROGGER C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. — 2002. — Vol. 64, N 7, P. 817–879.
- [2] HUTCHINS M.L., HOLZWORTH R.H., BRUNDELL J.B. Diurnal variation of the global electric circuit from clustered thunderstorms // J. Geophys. Res.: Space Physics. — Vol. 119 (1), P. 620–629.
- [3] КОЗЛОВ В.И., ШАБАГАНОВА С.Н. Применение кластерного анализа для выделения грозовых очагов // Динамика сложных систем, 2010. — Т. 4.
- [4] M. ESTER, H. KRIEGEL, J. SANDER ET AL. Incremental clustering for mining in a data warehousing environment // Proc. 24th Intern. Conf. on Very Large Data Bases. — N.Y.: Morgan Kaufmann, 1998. — P. 323–333.

#### 2.4. Белорусов А.И. Подход к организации межсистемного информационного взаимодействия между гетерогенными информационными системами

Рассматривается задача организации межсистемного информационного взаимодействия между гетерогенными информационными системами. Под гетерогенными системами понимаются информационные системы, выполненные на различных платформах и решающие разнородные задачи. Постановка задачи в общем виде выглядит следующим образом: имеется типовая корпоративная информационная система, реализованная в соответствии с двух- или трехуровневой архитектурой, и набор внешних информационных систем, размещен-

ных в сети Интернет. Требуется расширить функциональные возможности корпоративной системы функциями автоматизированного информационного взаимодействия с внешними системами. Взаимодействие с внешними системами выполняется через веб-сервисы. Веб-сервисы выполняют роль платформонезависимых шлюзов для программного взаимодействия по протоколу HTTP(S). Поставленная задача включает в себя ряд дополнительных требований: выполнение заданий информационного обмена в асинхронном режиме; динамическое формирование структуры и наполнения информационных пакетов.

Предложен и реализован оригинальный подход к решению поставленной задачи. Реализованный подход позволяет выполнять задания межсистемного информационного обмена в асинхронном режиме и не блокировать корпоративную информационную систему на время подготовки, отправки и получения информационных пакетов. Расширение функциональных возможностей корпоративной системы выполнено путем дополнения сервера приложений и/или базы данных программными средствами для взаимодействия с внешними системами через веб-сервисы. Общение корпоративной системы с разработанными программными средствами осуществляется путем обмена сообщениями через служебные таблицы корпоративной базы данных. Параметрический синтез информационных пакетов реализован с помощью механизма XML-шаблонов. Предложенный подход решает поставленную задачу, позволяет автоматизировать процесс межсистемного информационного взаимодействия гетерогенных систем, не требует существенных доработок со стороны корпоративной информационной системы и требует значительно меньших трудозатрат на реализацию в сравнение с дописыванием недостающего функционала корпоративной системы. Реализованный на основе подхода программный комплекс внедрен в эксплуатацию в департаменте закупок администрации города Красноярска.

## 2.5. Березин А.А., Вакула И.А. Исследование задачи построения сбалансированного графика прокатки

Работа посвящена построению и исследованию алгоритмов формирования графиков прокатки для непрерывных прокатных станов. Задача построения графика прокатки состоит в том, чтобы из заданного множества партий слябов (производственных заготовок) сформировать последовательность, называемую графиком прокатки, удовлетворяющую заданным технологическим ограничениям, которые определяют допустимый порядок следования партий. График прокатки требуется оптимизировать таким образом, чтобы суммарный вес слябов, относящихся к определенным типам продукции, был максимально близок к заданным значениям для

каждого из этих типов.

Для решения данной задачи авторами предложен следующий подход. Рассматривается раскрашенный вершинно-взвешенный ориентированный граф следования партий. Множеством узлов этого орграфа является множество партий, множество дуг формируется на основе технологических ограничений. Вес каждого узла равен суммарному весу слябов соответствующей партии, цвет узла определяется типом продукции. Таким образом, задача построения графика прокатки сводится к задаче поиска в этом орграфе простой цепи, в которой суммарный вес узлов каждого цвета максимально близок к заданному значению. Задача поиска простой цепи решается в два этапа.

1. Эвристический алгоритм генерации начальных приближений.
2. Локальная оптимизация лучших начальных приближений методами линейного программирования.

Метод локальной оптимизации основан на результатах авторов по блочной структуре графа следования партий.

Работа основана на опыте практического решения задач автоматизированного формирования графиков прокатки.

## Список литературы

- [1] ВАКУЛА И.А., ЛЕОНОВА С.И. О построении графиков прокатки // Тр. Междунар. (45-я Всерос.) молодежная школа-конф. «Современные проблемы математики и ее приложений». Екатеринбург, 2–8 февр. 2014 г.
- [2] BALAS E. The prize collecting travelling salesman problem // Networks. — 1989. — Vol. 19. — P. 621–636.
- [3] BALAS E., MARTIN C. Combinatorial optimization in steel rolling // The DIMACS/RUTCOR Workshop on Combinatorial Optimization in Science and Technology. — New Brunswick: Rutgers Univ. press, 1991. — P. 20–25.
- [4] TANG L., LIU J., RONG R., YANG Z. A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production // European J. Operational Research. — 2001. — Vol. 133, N 1, P. 1–20.
- [5] LIU S.X. Model and algorithm for hot rolling batch planning in steel plants // Intern. J. Information and Management Sci. — 2010. — P. 247–264.

## 2.6. Боброва М.В. Информационная технология выявления скрытых закономерностей в задаче анализа медицинских данных

Объекты медицинских исследований, как правило, характеризуются достаточно большим числом параметров, образующих многомерные векторы, и, таким образом, особое значение приобретают задачи изучения взаимосвязей между компонентами этих векторов, причем эти взаимосвязи необходимо выявлять на основании ограниченного числа многомерных наблюдений.

Исходными данными нашего исследования являлся многомерный массив значений медицинских показателей объектов исследования (детей, страдающих различными формами ожирения), сформированный специалистами-медиками. Цель исследования — построение информационной технологии для выявления скрытых закономерностей (определение групп детей, имеющих схожий результат лечения) после проведения лечения. Для реализации поставленных в исследовании задач анализа многомерных данных был использован достаточно популярный пакет Statistica, разработчиком которого является компания StatSoft. Для определения однородных групп был выбран метод кластерного анализа.

Метод кластерного анализа позволяет разбивать множества исследуемых объектов и признаков на однородные в группы (кластеры). Для реализации процедуры кластерного анализа существует несколько методов, мы использовали наиболее распространенный метод  $k$ -средних, целью которого является разбиение объектов на  $k$  кластеров [1]. С целью обработки клинико-лабораторных показателей был использован алгоритм ограниченного перебора (с применением пакета Wiz Why). Поиск логических правил осуществлялся для клинико-лабораторных показателей до лечения, так и для значения разности показателей до лечения и после лечения. В частности, были получены правила, характеризующие показатели пациентов до лечения к индексу массы тела после лечения. Эти правила позволяют понять, на каких пациентов и с какими признаками лечение подействовало эффективнее.

#### Список литературы

- [1] Дюк В., Самойленко А. Data Mining: учебный курс. — СПб.: Питер, 2001. — 386 с.
- [2] Берестнева О.Г., Осадчая И.А., Немеров Е.В. Методы исследования структуры медицинских данных // Вестник науки Сибири. — 2012. — Т. 1, № 2.

#### 2.7. Бодякин Е.В. Определение резонансных характеристик грунтового разреза в задачах сейсмического микрорайонирования

Одна из важнейших характеристик грунтового движения — частотные особенности колебаний грунта. Часто именно они определяют сейсмические или разрушительные эффект, т. е. интенсивность сильного землетрясения. Более того, если на здания и сооружения воздействует даже весьма высокие ускорения (например, более  $1g$ ), то прямой сейсмический эффект по степени его проявления много ниже, чем при резонансных явлениях в приповерхностном грунтовом слое.

В работе представлена оценка методов, позволяющих оценить резонансные характеристики изучаемой площадки на основе регистрации микросейсмических колебаний. Первый подход — метод, предложенный японским ученым Накамура (1989), в кото-

ром вычисляется спектр  $H/V$  — то есть отношение горизонтальной компоненты спектра записи к вертикальной. Данный метод активно используется в зарубежной практике по сейсмическому микрорайонированию [1, 2, 3], но в тоже время этот метод не имеет четкой теоретической основы.

Второй метод [4] позволяет выделить стоячие волны из записей микросейсм, которые регистрируются при исследовании площадки. Этот метод основан на пересчете разновременных данных к «единому» времени с использованием синхронных записей в опорных точках, что позволяет более эффективно выделять из микросейсмического поля его когерентные составляющие — формирующиеся в верхней части разреза стоячие волны.

В результате проведенных исследований произведена оценка резонансных характеристик грунтового разреза площадки двумя методами с использованием реальных данных. Итоги эксперимента хорошо согласуются с данными численного моделирования реакции геологической среды на сейсмические воздействия.

#### Список литературы

- [1] IBS-VON SEHT M., WOHLENBERG J. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments // Bulletin of the Seismological Society of America. — 1999. — Vol. 89, N 1, P. 250–259.
- [2] BOUR M., FOUISSAC D., DOMINIQUE P., MARTIN C. On the use of microtremor recordings in seismic microzonation // Soil dynamics and earthquake engineering. — 1998. — Vol. 17, N 7, P. 465–474.
- [3] HAEFNER R.J., SHEETS R.A., ANDREWS R.E. Evaluation of the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) Seismic Method to Determine Sediment Thickness in the Vicinity of the South Well Field, Franklin County, OH // The Ohio J. Sci. — 1999. — Vol. 110, N 4, P. 77–85.
- [4] Еманов А.Ф., Красников А.А., Бах А.А. и др. Резонансные свойства верхней части разреза // Физ. мезомех. — 2008. — Т. 11, № 1, С. 26–36.

#### 2.8. Васильева Е.Е., Евсюткин И.В. Интеллектуальная информационная система управления геолого-техническими мероприятиями на фонде скважин нефтегазодобывающего предприятия

Проведение в скважинах геолого-технических мероприятий (ГТМ) вносит большой вклад в увеличение объемов добычи любого нефтегазодобывающего предприятия. При этом геологической службе предприятия постоянно приходится решать две крупные задачи: по данным мониторинга скважинного фонда осуществлять правильный выбор скважин-кандидатов для проведения ГТМ и выбирать для каждой из этих скважин соответствующее мероприятие.

Данные, необходимые для анализа, поступают из разных источников и могут быть представлены в

виде таблиц, графиков, 3D-моделей. Для своевременного учета не только разнородной информации о текущем состоянии скважин, но и ресурсов самого предприятия (график работы бригад капитального ремонта скважин, график плановых остановок скважин, расчет показателей экономической эффективности проведения ГТМ и др.), возникает необходимость разработки единой информационной системы управления ГТМ.

Наряду с традиционным подходом анализа данных «вручную» предлагается внедрение методов и алгоритмов для автоматизированного (например, метод расчета геологического потенциала), а в ряде случаев и автоматического выбора скважин-кандидатов. Так как в настоящее время не существует универсального подхода к анализу промысловых данных, в основу автоматического режима, который должен находить нетривиальные закономерности в данных, предложено положить один из методов машинного обучения — кластерный анализ.

С учетом описанных возможностей была спроектирована архитектура интеллектуальной информационной системы для подбора скважин-кандидатов на проведение ГТМ.

#### Список литературы

- [1] Ахмедов К.С., Аршинова Н.М., Семеняк А.А. Информационная система планирования и оценки эффективности ГТМ на фонде скважин ОАО «Газпром» // Газовая промышленность. — 2012. — № 7, С. 51–55.
- [2] Султанов А.С., Латифуллин Ф.М., Насыбуллин А.В. Автоматизированный подбор скважин-кандидатов для гидравлического разрыва пластов на АРМ геолога «Лазурит» // Нефтяное хозяйство. — 2010. — № 7, С. 48–51.

#### 2.9. Ващенко П.В., Лабусов В.А. Алгоритм обработки атомно-абсорбционных спектров с непрерывным источником излучения

Атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС) — метод аналитической химии, основанный на резонансном поглощении света свободными атомами, возникающем при пропускании излучения через слой атомного пара. Традиционный метод ААС имеет весьма низкую производительность, т. к. определение концентрации элементов таблицы Менделеева в веществе проводится последовательно. Для определения каждого элемента используется своя лампа с полым катодом, имеющая линии этого элемента. Определение некоторых элементов не возможно из-за отсутствия соответствующих ламп. Использование источника непрерывного спектра, например, дейтериевой лампы, и многоканального спектрометра позволяет получать спектр поглощения в широкой спектральной области и проводить определение всех необходимых элементов одновременно.

В докладе предложен алгоритм обработки после-

довательностей атомно-абсорбционных спектров во времени, зарегистрированных с помощью спектрометра «Колибри-2» [1] с анализатором МАЭС [2], электротермического атомизатора и дейтериевой лампы с непрерывным спектром в качестве источника излучения. Цель работы алгоритма — расчет аналитического сигнала, равного интегралу линии поглощения по длине волны и времени, для определяемого элемента с минимальными пределами обнаружения.

Данный алгоритм был основан на нескольких этапах работы. Неселективное поглощение и излучение в зарегистрированном спектре приводит к существенной погрешности измерения аналитического сигнала даже в случае высоких концентраций определяемых элементов. Поэтому на первом этапе был рассчитан спектральный фон с помощью маскирования спектральных линий за счет известной оценки шума линейки фотодиодов [3] и аппроксимации участка спектра полиномом заданной степени. На втором этапе были найдены границы интегрирования линии поглощения, т. к. при низких концентрациях определяемого элемента амплитуда линии может быть сравнима или даже существенно меньше спектрального шума.

В настоящее время разработанный алгоритм внедряется в программное обеспечение «Атом» [4].

#### Список литературы

- [1] Лабусов В.А., Путьмаков А.Н., Саушкин М.С. и др. Многоканальный спектрометр «Колибри-2» и его использование для одновременного определения щелочных и щелочноземельных металлов методом пламенной фотометрии // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2007. — Т. 73, № 5, С. 35–39.
- [2] Лабусов В.А., Гаранин В.Г., Шелпакова И.Р. Многоканальные анализаторы атомно-эмиссионных спектров. Современное состояние и аналитические возможности // Журнал аналитической химии. — 2012. — Т. 67, № 7, С. 697–707.
- [3] Бабин С.А., Лабусов В.А. Оценка оптимальных параметров многоэлементных твердотельных детекторов для сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа // Аналитика и контроль. — 2014. — Т. 18, № 1, С. 40–49.
- [4] Гаранин В.Г., Неклюдов О.А., Петроченко Д.В. и др. Программное обеспечение атомно-эмиссионного спектрального анализа. Программа «Атом» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2015. — Т. 81, № 1–II, С. 121–127.

#### 2.10. Воронцов Н.С., Лищачев А.В. Быстрые методы лучевой трассировки трехмерных объектов

Трассировка лучей — метод построения фотореалистичных и физически корректных изображений, часто применяемый в задачах моделирования оптических устройств и получения внешнего вида разрабатываемого изделия. Основной проблемой данного

метода на сегодняшний день является крайне низкая производительность, что ограничивает применение метода, например, не позволяя строить изображения в реальном времени, что приводит к невозможности оценить исследуемый процесс или изделие с разных сторон на этапе построения модели.

Данная работа посвящена исследованию принципа работы алгоритма, а также рассмотрению современных методов его ускорения. Учитывая разработанность данной темы и большое количество предложенных оптимизаций, мы ограничимся рассмотрением методов ускорения поиска пересечения луча с объектом сцены. Эти методы можно разделить, основываясь на положенной в их основу структуру данных.

Вначале будет рассмотрено применение -мерных деревьев — разновидности бинарных деревьев, для разбиения пространства плоскостями. Далее будет рассмотрен метод разбиения пространства, основанный на BVH (Bounding Volume Hierarchy, иерархии ограничивающих объемов) — заключении объектов сцены в геометрические примитивы и выстроении иерархии вложенности. И напоследок, будут рассмотрены регулярная и иерархические сетки — при поиске в регулярной сетке проверяются только те объекты, которые оказались внутри вокселей на пути луча.

#### Список литературы

- [1] GLASSNER A.S. An introduction to Ray Tracing. — London: Acad. press, 1991. — 351 p.
- [2] AGOSTON M.K. Computer Graphics and Geometric Modeling. — London: Springer-Verlag, 2005. — 921 p.
- [3] SHIRLEY P. , WANG C. Distribution Ray Tracing: Theory and Practice. — Computer Science Department: Indiana University, 1992. — 18 p.
- [4] ROSS B.J. Ray Tracing Basics. — Dept. of Computer Science: Brock University, 2014. — 22 p.

#### 2.11. Гальперов В. Применение Joiner-сетей при разработке многоагентных систем оценивания состояний ЭЭС

В современных условиях, для функционирования и управления электроэнергетических систем требуется создание расчетной модели для схем большой размерности на базе методов оценивания состояния. Такие схемы не полностью наблюдаемы, возможно искажение данных, плохая их синхронизация и, как следствие, принятие неправильных решений, формируемых на базе расчетной модели. Существует необходимость в разработке новых методов и программных средств для оценивания состояний, которые позволят исключить эти проблемы, в частности, реализующих многоагентный подход. Преимущество применения многоагентного подхода — это возможность организовать распределенную обработку данных [1].

Основной целью событийного моделирования является выработка множества сценариев развития со-

бытий, отражающих варианты поведения системы. Множество вариантов формируется за счет получения из модели дерева реализации событий. Каждое такое дерево содержит в начале инициирующее событие — все остальные события дерева являются следствием его реализации. Если, в процессе построения модели, эксперт не описал ни одного события имеющего альтернативные причинно-следственные связи с другими, то множество вариантов развития событий будет состоять лишь из одного дерева реализации событий.

При создании нового или редактировании существующего сценария у пользователя должна быть возможность указать те места, в которых данные можно разделить между несколькими агентами одного типа. Для того чтобы не приходилось вносить программные изменения, и чтобы пользователь мог сам корректировать существующий алгоритм, предлагается использовать сценарии для агентов. Агентные сценарии позволят редактирования алгоритма решения задачи без участия программистов. Таким образом применение Joiner-сетей для описания агентных сценариев позволит наглядным образом спроектировать алгоритм работы системы.

*Работа выполняется при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 15-07-01284, 13-07-00140, 14-07-31268, 14-07-00116, 12-07-00359).*

*Научный руководитель — д.т.н., профессор Массель Л.В.*

#### Список литературы

- [1] Колосок И.Н., Пальцев А.С. Двухуровневый иерархический алгоритм оценивания состояния ЭЭС и его реализация на основе мультиагентного подхода // Сб. докл. III Междунар. научно-практич. конф. «ЭНЕРГОСИСТЕМА: управление, конкуренция, образование». — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. — Т. 1, С. 354–359,

#### 2.12. Гергет О.М., Девятым Д.В. Нейродинамическое выделение электрокардиограммы плода

Актуальной проблемой в компьютерной обработке медицинских сигналов, на решении которой в последние годы сосредоточено внимание большого количества научных коллективов со всего мира, является проблема выделения электрокардиограммы плода.

Ультразвуковая доплерография и инвазивные методы диагностики обладают рядом недостатков, в связи с чем ведутся разработки алгоритмов разделения абдоминальной электрокардиограммы матери на составляющие. Проведен анализ большого количества зарубежных и отечественных научных публикаций, выявлены преимущества и недостатки, присущие тем или иным алгоритмам.

В работе предложена нейросетевая модель, на вход которой подается абдоминальный материнский сигнал, выходом сети является кардиограмма плода. В

качестве базовой модели была выбрана нелинейная авторегрессионная модель с внешними входами, которая представляет собой модифицированный многослойный перцептрон: к нейронам входного слоя применены линии задержки сигнала; нейроны выходного слоя соединены с входным слоем обратными связями.

Преимущества предложенного алгоритма по сравнению с рассмотренными ранее подходами: способность работать с кардиосигналами, содержащий переменные RR-интервалы, т.е. нестационарными сигналами; отсутствует необходимость в предоставлении сети какой бы то ни было априорной информации о сигнале, в том числе и опорного сигнала; алгоритм может работать с одним отведением, в отличие от методов, точность которых напрямую зависит от количества независимых каналов наблюдения.

Предложен метод обучения сети, при котором динамическая нейронная сеть разворачивается в статическую. После вычисления производных коррекция весов производится согласно методу Resilient propagation, который учитывает изменения знака веса производной, а не ее абсолютное значение.

Проведено исследование влияния свободных параметров нейросетевой модели (количество обратных связей, нейронов в скрытом слое) на точность выделения электрокардиограммы плода. Для анализа полученных результатов использовались значения: среднеквадратичной ошибки;  $t$ -критерий Стьюдента; коэффициент корреляции; чувствительность и специфичность.

### 2.13. Гиниятуллина О.Л., Харлампенков И.Е. Применение каталога метаданных для управления и систематизации пространственных данных

В докладе рассмотрен вариант использования метаданных и средств их каталогизации для решения задач управления пространственными данными в рамках ГИС-проектов, охватывающих значительные по площади территории (уровень субъекта Российской Федерации) и связанных с получением исходных материалов из множества источников. В этом случае важным вопросом является систематизация данных, устранение их дублирования и приведение к единому формату.

Для решения данной проблемы предлагается использовать технологию геопорталов [1] с добавлением каталога метаданных. Тогда для каждого поступающего набора геоданных формируется метаописание в соответствии со стандартом ISO 19115 [2]. Используется шаблон на языке XML описанный в ISO/TS 19139 [3]. Для ускорения процесса систематизации данных предложено расширить имеющуюся схему секцией, содержащей атрибуты необходимые для сопоставления слоев с категориями (земельные ресурсы, водные ресурсы, административ-

ные границы и т.д.). Такой подход позволит сгруппировать накопленные геоданные, а затем произвести фильтрацию, устраняющую дублирование. Рассматривается вопрос о применении подобного решения для создания метаописаний, позволяющих решать практические задачи в рамках проекта геоинформационной системы. Например, добавление атрибутов, описывающих принадлежность электронного слоя к определенному виду охраняемых земель в рамках проекта сохранения биоразнообразия.

В качестве реализации каталога метаданных используется GeoNetwork. Для ускорения процедур добавления и редактирования метаданных разработан специальный компонент создания краткой записи метаданных (заголовок записи, описание, ключевые слова, категория и т.д.). Введенные данные вносятся в общий каталог через операцию «Transaction» протокола CSW (Catalogue Service for the Web) [4]. На его основе создана форма для поиска пространственных данных по нескольким критериям и сохранения их коллекций в виде пользовательских карт.

С учетом стандартов ISO/TC211 и OGC разработан набор компонентов, обеспечивающих управление метаданными и поиск геопрограммных данных на их основе. Ведутся работы по его внедрению в геопортал сохранения биоразнообразия Кемеровской области и упорядочиванию собранных материалов.

### Список литературы

- [1] Кошкарев А.В. Геопортал как инструмент управления пространственными данными и геосервисами // Пространственные данные. — 2008. — № 2.
- [2] ISO 19115:2003. Geographic information — Metadata. Адрес доступа: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=26020](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=26020).
- [3] ISO/TS 19139:2007. Geographic information — Metadata — XML schema implementation. Адрес доступа: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=32557](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=32557).
- [4] OpenGIS Catalogue Services Specification. Адрес доступа: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=20555](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=20555).

### 2.14. Гиниятуллина О.Л., Харлампенков И.Е., Сидоренко П.В. Концепция построения геоинформационных систем оценки биоразнообразия с использованием сетевых технологий

Высокий уровень техногенной нагрузки на природные сообщества в районах добычи полезных ископаемых приводят к необходимости оперативного контроля за состоянием и количеством зон биоразнообразия данных территорий. В связи с этим требуются не только специальные средства для сбора, хранения и обработки подобной информации, но и, в первую очередь, эффективные средства мониторинга природных объектов, основанные на применении

современных моделей анализа и визуализации многомерных пространственных данных и оперативного контроля с использованием методов дистанционного зондирования.

В докладе предлагается подход к разработке подобного рода систем с использованием технологий хранилищ данных, облачных сервисов и средств интеллектуальной обработки и анализа многомерных данных.

Предполагается, что данная система должна не только собирать, хранить и визуализировать информацию согласно определенному регламенту и ролям пользователей, но и решать определенные задачи сохранения биоразнообразия. В системе используется разнородная геопривязанная информация, представленная в виде электронных карт, описаний природных объектов, фото, данных дистанционного зондирования и их результатов обработки (индексы, контура, карты различий и т. п.).

В классическую архитектуру построения распределенных приложений для публикации пространственных данных в сети (БД — GeoServer — Сервер приложений) предлагается добавить компоненты: БД NoSQL и GeoNetwork. Первый компонент обеспечивается кэш для хранения правил и выборки для реализации определенных алгоритмов обработки данных, второй — набор метаданных. Внедрение данных компонентов позволит существенно снять нагрузку на систему при повторном выполнении определенных расчетов и запросов пользователей.

Приводятся результаты разработки рабочего прототипа системы для оценки биоразнообразия Кузбасса.

#### **2.15. Голубева Ю.А., Лигай С. Стенд для адаптации стандарта WITSML в отечественной технологии мониторинга бурения**

Мониторинг является неотъемлемой частью процесса бурения. Необходимость его использования была многократно подтверждена на практике. На данный момент в отечественной нефтегазовой промышленности используются разрозненные методы передачи данных, в том числе каждый программный продукт исторически имеет собственный формат передачи и хранения данных полученных во время бурения и эксплуатации скважины. Таким образом, в процессе передачи данных от одного уровня обработки к другому возникают проблемы конвертации форматов, что приводит к потере достоверности. Стандарт WITSML позволяет избежать подобных проблем, однако он был разработан зарубежными специалистами, и не в полной мере соответствует отечественным технологиям бурения.

Таким образом, целью данной работы является разработка стенда для адаптации стандарта передачи данных WITSML 1.4.1.1. во время бурения для отечественной нефтегазовой промышленности.

В результате работы был разработан и построен стенд передачи данных полученных в процессе бурения по стандарту WITSML с учетом специфики отечественной промышленности. В структуру стенда входит, в частности программный продукт GeoServer в комплекте с агентом WITSML, агент обеспечивает конвертацию данных, полученных с буровых установок в формат стандарта WITSML, а также сервер хранения и передачи данных в формате WITSML. Построение такой схемы передачи данных обеспечивает своевременное получение информации о процессе бурения и позволяет формировать геологическую модель месторождения в режиме реального времени. Также пользователь может удаленно управлять процессом бурения с помощью станции управления бурением.

#### **2.16. Горохова Е.С., Кочегурова Е.А. Использование муравьиного алгоритма для формирования расписания пассажироперевозок г. Томска**

В настоящее время в г. Томске проживает более полумиллиона человек [1]. Для обеспечения нормальных условий их деятельности необходима эффективная работа городского пассажирского транспорта. Тем не менее, наблюдаются проблемы в ее организации. Так, часть маршрутов дублируется, а центральные улицы города сильно загружены [2]. В связи с этим, задача построения расписания городского пассажирского транспорта является актуальной и должна быть решена в рамках более крупной задачи формирования маршрутной сети города. Наиболее эффективными алгоритмами составления расписания в настоящее время являются метаэвристические алгоритмы [3]. В данной работе исследуется применение муравьиного алгоритма [4] для оптимизации расписания городского пассажирского транспорта в г. Томске.

Целью работы является составление расписания движения городского транспорта таким образом, чтобы обеспечить максимальную удовлетворенность как пассажиров, так и пассажироперевозчиков. Для достижения цели необходимо учитывать, что участники пассажироперевозок предъявляют разные требования: так, пассажиры стремятся минимизировать время перемещения между нужными остановками, а пассажироперевозчики заинтересованы в увеличении прибыли, и, как следствие, уменьшении количества автобусов на маршрутах при наибольшем объеме перевозок.

Составление расписания с помощью муравьиного алгоритма основывается на предположении о самоорганизации муравьев-автобусов. На отклонения от текущего расписания с некоторой вероятностью влияет популярность следующей остановки и удобство движения к ней с выбранной скоростью. Популярность остановки определяется количеством уехавших с нее пассажиров. В терминах муравьи-

ного алгоритма этот параметр называется количеством феромона. Удобство движения описывается отклонением от стандартного времени движения между остановками и называется видимостью.

В результате работы муравьиный алгоритм был адаптирован для применения в задаче составления расписания городского пассажирского транспорта г. Томска. Использование алгоритма поможет улучшить эффективность существующего расписания и повысить удовлетворенность как пассажиров, так и пассажироперевозчиков.

#### Список литературы

- [1] Организация Объединенных Наций. Население Томска на 2012 г. Адрес доступа: <http://data.un.org/Data.aspx?d=POP&f=tableCode%3A240> (дата обращения 15.09.2015).
- [2] Таловская М.А., Фадеев А.С., Кочегурова Е.А. Расчет эксплуатационных показателей маршрутов городского пассажирского транспорта для предпроектного и инспекционного анализа (на примере города Томска) // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. — 2014. — № 1, 8 с.
- [3] Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы // Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. — 2011. — 222 с.
- [4] Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Хропента Pro. Математика в приложениях. — 2004. — № 4, С. 70–75.

#### 2.17. Горский С.А. Разработка масштабируемых приложений в ИК Orlando

Проводимые во многих областях современной науки исследования нуждаются в организации экспериментов в высокопроизводительных распределенных вычислительных средах. Это вызвано потребностями фундаментальных исследований и необходимостью решения прикладных ресурсоемких задач моделирования, например, в таких областях, как машиностроение, материаловедение, энергетика, медицина и фармакология. Неотъемлемой составляющей организации распределенных вычислений является развитие вычислительных методов, моделей и средств разработки параллельных и распределенных программ.

На данный момент в зарубежной и отечественной литературе средства разработки программ для распределенных вычислительных сред можно объединить под термином Workflow Management Systems (системы управления потоками задач). Проведенный обзор ряда систем показал, что рассмотренные системы обладают разной функциональностью, как в плане средств описания потока, он может иметь как текстовое представление (Swift), так и графическое (Kepler, Taverna, WS-PGRADE/gUSE, Galaxy), либо оба (UNICORE Workflow System); представлять программу в виде направленного ациклического графа или позволять описывать циклы и условия

(Swift, Taverna и др.). Так и в плане средств управления потоком, включающих планирование выполнения, запуск и мониторинг подзадач, управление данными. Но проведенный анализ показывает, что сами эти комплексы и разрабатываемые с их помощью программы не обладают всей функциональностью необходимой специалисту-предметнику.

В докладе представлен разрабатываемый инструментальный комплекс Orlando [1]. В частности рассматриваются особенности архитектуры инструментального комплекса и алгоритмы функционирования реализованных на данный момент подсистем, позволяющие масштабировать его возможности под имеющиеся ресурсы распределенных вычислительных сред и описывать масштабируемые схемы решения задач, позволяющие адаптировать распределенные программы под доступные динамические ресурсы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-29-07955-офи\_м).*

#### Список литературы

- [1] Новопашин А.П., Сидоров И.А., Горский С.А. Инструментальные средства организации параллельных вычислений в пакетах прикладных программ // Вестник УГАТУ. — 2011. — Т. 15, № 5(45), С. 78–86.

#### 2.18. Денисова А.С. Визуализация категориального ядра «ресурс — свойство — действие — отношение» для моделирования системы визуального управления

Работа посвящена актуальной теме повышения качества визуального управления за счет разработки нового класса интеллектуальных информационных систем — гибридных интеллектуальных систем (ГиИС) с гетерогенным визуальным полем, имитирующих сотрудничество, относительность и дополнительность коллективного интеллекта для поиска решений на символьных и визуальных языках.

Один из известных подходов к разработке ГиИС — лингвистический [1]. Его суть в трансформации вербализованной информации об объектах-оригиналах (сложных задачах) и объектах-прототипах (методах моделирования), имеющейся в языках профессиональной деятельности, в объекты-результаты (гибридные интеллектуальные системы). Трансформация направляется схемами-эвристиками специфицирующими понятия-концепты объекта, субъекта управления и субъекта разработчика. Схемы основаны на триаде А.И. Умова «вещь — свойство — отношение» [2] — составной части категориального ядра неформальной аксиоматической теории ролевых конструктов.

Состояние исследований в области «визуального мышления», введенного Р. Арнхейном, известно по работам Д. Пинка, Д. Сиббета, Д. Розма, Г. Рейнольдса, Н. Дуарте. В области когнитивной компьютерной графики по работам Д.А. Поспелова,

А.А. Зенкина, Б.А. Кобринского, В.Б. Тарасов, О.П. Кузнецова, Л.М. Чайлахяна, а в инженерии образов — И.Б. Фоминых.

Излагаются первые результаты визуализации категориального ядра «ресурс — свойство — действие — отношение», полученные обобщением идей и подходов к визуальному мышлению, когнитивной графике, инженерии образов, спецификации ролевых визуальных конструкторов, и правил их комбинирования в сложные, производные визуальные образы, что составит основу неформальной аксиоматической теории схем ролевых визуальных моделей. Это, в свою очередь откроет путь для привлечения к решению сложных задач в условиях существенной неопределенности визуально-пространственного, коллективного интеллекта.

Приводятся результаты трансформации визуально-пространственной информации для поддержки принятия решений с использованием инструментальной системы AnyLogic [3].

*Научный руководитель — д.т.н. Колесников А.В.*

#### Список литературы

- [1] Колесников А.В., Кирик И.А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. — М.: ИПИ РАН, 2007.
- [2] Уемов А.И. Вещи, свойства, отношения. — М.: Институт философии АН СССР, 1963. — С. 5–74.
- [3] Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. — СПб.: БХВ Петербург, 2006.

#### 2.19. Дородных Н.О., Юрин А.Ю., Коршунов С.А. Концепция программной системы создания веб-сервисов синтеза баз знаний на основе концептуальных моделей

В настоящее время разработка новых методов и подходов к созданию интеллектуальных систем, основанных на знаниях, остается перспективной областью научных исследований. Основную сложность при разработке подобных систем представляет этап формирования баз знаний (БЗ) [1, 2]. Эффективность данного процесса может быть повышена путем автоматизации повторного использования концептуальных моделей, построенных при помощи различных программных средств (например, CASE-средств, систем концептуального, когнитивного или онтологического моделирования). В данной работе предлагается повысить эффективность процесса разработки БЗ, путем создания сервис-ориентированной системы разработки веб-сервисов для синтеза БЗ на основе автоматизированного анализа концептуальных моделей, выполненных в различных программных средствах. Для достижения поставленной цели осуществлена разработка: общей концепции сервис-ориентированной системы и ее основных компонентов; метода трансформации исходных концептуальных моделей в код на целевом языке

программирования баз знаний (ЯПБЗ), основанного на процедуре установления соответствий элементов метамodelей. Разработанные при помощи данной системы веб-сервисы должны обеспечивать преобразование различных концептуальных моделей в расширенную онтологию (внутреннее представление знаний в системе), с последующим моделированием (уточнением) полученных знаний с использованием нотации RVML (Rule Visual Modeling Language) [3] и их отображение на целевой ЯПБЗ. Данная работа является логическим продолжением предыдущих исследований авторов в области автоматизации разработки БЗ на основе концептуальных моделей [4].

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 15-37-20655, 15-07-03088).*

#### Список литературы

- [1] ГАВРИЛОВА Т.А., ХОРОШЕВСКИЙ В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб.: Питер, 2000. — 384 с.
- [2] GIARRATANO J.C., RILEY G. Expert Systems: Principles and Programming, 4th Edition. — Thomson Course Technology, 2005. — 288 p.
- [3] Грищенко М.А., Юрин А.Ю., Павлов А.И. Разработка экспертных систем на основе трансформации информационных моделей предметной области // Программные продукты и системы. — 2013. — № 3, С. 143–147.
- [4] Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Использование диаграмм классов UML для формирования продукционных баз знаний // Программная инженерия. — 2015. — № 4, С. 3–9.

#### 2.20. Дресвянский Д.В., Митрофанов С.А. Сравнение эффективности методов интеллектуального анализа данных в задачах распознавания изображений

Распознавание изображений — одно из самых интенсивных направлений сегодня. Необходимость в таком распознавании возникает в самых разных сферах деятельности человека. Каждая база данных обучает систему классифицировать объекты в зависимости от того, что представлено на изображении: распознавание типа почвы по снимкам со спутника (№ 1), распознавание объектов в городском ландшафте (№ 2), распознавание цифры по рукописи (№ 3), распознавание типа машины (№ 4), распознавание объекта в сегментированном изображении (№ 5).

Для обучения системы были применены 10 методов классификации объектов, реализованные с помощью программы RapidMiner: нейронная сеть (NN), метод  $k$  ближайших соседей ( $k$ -NN), деревья решений (DT), индуктивный вывод правил (RI), метод опорных векторов (SVM), многослойный перцептрон (MLP), наивный байесовский классификатор (NB), метод линейной регрессии (LR), линейный дискриминантный анализ (LDA), случайный лес (RF).

Для решения упомянутых задач определялись самые эффективные методы. С целью повышения эффективности найденные методы были собраны в ансамбли. Также был применен бустинг по алгоритму AdaBoost к нескольким методам, которые были использованы в данной работе. Методы классификации, ансамбли и методы, подвергшиеся бустингу, подверглись сравнению по  $t$ -критерию Стьюдента. В задаче № 1 оказались лучшими методы SVM (90,80%),  $k$ -NN (90,71%) и MLP (89,87%). В то же время метод  $k$ -NN, подвергшийся бустингу, имеет точность 92,05%. Это означает, что лучше всего для этой задачи подходит именно он. В задаче № 2 лучшим вариантом оказался ансамбль из наилучших методов со значением точности 84,23%, который обладает значимыми различиями со всеми остальными вариантами. В задаче № 3 лучшими оказались методы SVM (97,57%) и  $k$ -NN (97,69%). Они не обладают существенными различиями. Это означает, что для этой задачи можно использовать любой из указанных вариантов без потери точности. В задаче № 4 лучшим вариантом оказалось использование одного из двух методов, которые не обладают значимыми различиями между собой. Это NN (81,30%) и MLP (81,87%). И, наконец, в задаче № 5 победил вариант ансамбля, состоящего из всех методов, представленных в данной работе. Этот ансамбль имеет эффективность 85,56%.

Результаты оказались неоднозначными, что не позволяет выбрать наилучший подход в задачах распознавания изображений. Это значит, что необходимо строить более мощные, а лучше адаптивные методы, которые смогут автоматически настраиваться на решаемую задачу. Сделать это в рамках используемой системы RapidMiner не представляется возможным, поэтому следует использовать другие подходы. Примером такого подхода является генетическое программирование [1], особенно в самоадаптивном варианте [2].

#### Список литературы

- [1] СЕМЕНКИН Е.С., ШАВАЛОВ А.А., ЕФИМОВ С.Н. Автоматизированное проектирование коллективов интеллектуальных информационных технологий методом генетического программирования // Вест. СибГАУ. — 2011. — № 3 (36), С. 77–81.
- [2] SEMENKIN E., SEMENKINA M. Self-configuring genetic programming algorithm with modified uniform crossover // 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC-2012). — 2012. — P. 6256587.

#### 2.21. Дядькин Ю.А. Разработка инструментальных средств автоматизации построения и применения имитационных моделей РВС на языке Java

В докладе рассматривается подход к разработке инструментального комплекса SIRIUS-II для исследования проблемно-ориентированной распределенной вычислительной среды с использованием ме-

тодов автоматизации спецификации имитационных моделей. Существующие на данный момент инструментальные средства рассчитаны на пользователей с высокой квалификацией в области имитационного моделирования [1]. Предлагаемое инструментальное средство позволит другим различным категориям пользователей, а именно: разработчикам моделей и конечным пользователям, создавать и в дальнейшем применять агрегированные многоуровневые модели проблемно-ориентированных распределенных вычислительных сред [2] с высокой степенью привязки к предметной области. В докладе рассматриваются: архитектура инструментального комплекса, средство спецификации модели распределенной вычислительной среды, язык спецификации модели, транслятор языка спецификации модели, программа для динамического построения графического интерфейса пользователя [3]. Приводится пример построения модели с использованием языка спецификации для исследования работы локальной вычислительной сети.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-29-07955-офи\_м).*

*Научный руководитель — к.т.н. Феоктистов А.Г.*

#### Список литературы

- [1] Девятков В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: Монография. — М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2013. — 448 с.
- [2] Опарин Г.А., Новопашин А.П., Феоктистов А.Г. Интегрированная инструментальная среда организации проблемно-ориентированных распределенных вычислений // Программные продукты и системы. — 2013. — № 1. С. 3–6.
- [3] ФЕРЕФЕРОВ Е.С., ХМЕЛЬНОВ А.Е. Технология разработки приложений баз данных на основе декларативных спецификаций // Вычисл. технологии. — 2014. — Т. 19, № 5, С. 85–100.

#### 2.22. Евсюков А.А. Картографическое отображение оперативной обстановки в системах мониторинга

Работа посвящена картографическому представлению оперативной обстановки в системах мониторинга состояния окружающей среды и оценки угрозы возникновения ЧС [1]. Для наблюдения за состоянием окружающей среды (метеорологической, гидрологической, сейсмической, радиационной обстановками) предлагается построение отдельных OLAP-моделей [2]. При этом OLAP-технология применяется не только для формирования многомерного куба, выполнения стандартных операций над ним и агрегирования данных, но и для оперативного выявления опасностей в процессе мониторинга обстановки. Оценка рисков возникновения ЧС происходит на основе аналитических индикаторов, позволяющих сравнивать результаты аналитической обработки оперативных мониторинговых данных с по-

роговыми значениями важных показателей обстановки. Пороговые значения наблюдаемых показателей имеют пространственно-временную привязку так же, как и исходные мониторинговые данные. На основе результатов оперативного анализа мониторинговых данных поставлена задача динамического картографического представления обстановки.

Для картографического представления оперативных данных используется модуль Яндекс.Карты. В картографический модуль внедрен шаблон метки, состоящего из графического объекта и текста. Шаблон включает в себя изображение и текст. Контур метки раскрашен цветом индикатора, зеленым — в нормальном состоянии, желтым — при приближении к критическому значению уровня воды, красным — в случае его превышения. Кроме шаблона метки разработан шаблон информационного окна, содержащего более подробную информацию об объекте. Размещение объектов производится с использованием встроенных методов кластеризации: объекты, изображения которых накладываются друг на друга при заданном масштабе, объединяются в группы. Картографическое представление данных для задач мониторинга состояния окружающей среды и оценки угрозы возникновения ЧС повышает эффективность использования оперативной информации в органах управления МЧС.

#### Список литературы

- [1] Ноженкова Л.Ф., Исаев С.В., Ничепорчук В.В. и др. Применение методов оперативного анализа данных для обработки результатов мониторинга ЧС на региональном уровне управления // Сб. матер. Междунар. научно-практич. конгресса «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий ЧС регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения». — Новосибирск: СГГА, 2010. — С. 3–11.
- [2] KOROVIKO A.V., PENKOVA T.G., NICHEPORCHUK V.V., MINAEV A.S. The integral OLAP-model of the emergency risk estimation in case of Krasnoyarsk region // Proc. 36th Intern. conf. «Business Intelligence Systems (miproBIS)». — 2013. — P. 1456–1461.

#### 2.23. Егоров Ю.А. Применение модели SVD для прогнозирования музыкальных предпочтений пользователя

Прогнозирование предпочтений пользователя — задача, которая в первую очередь, имеет большое практическое значение. Это связано с широким распространением концепции персонализации информации, лежащей в основе создания сервисов персонализированного поиска — инструментов, позволяющих получать именно ту информацию, которая наилучшим образом соответствует требованиям конкретного пользователя.

На сегодняшний день разработано большое количество подходов к решению задачи прогнозирования

предпочтений, однако остается открытым вопрос о том, как зависит выбор метода прогнозирования от предметной модели и данных, с которыми необходимо работать. В частности, Робин Брук с соавторами [1] рассматривают критерии, по которым следует выбирать метод прогнозирования в зависимости от предметной области. При этом авторы не считают, что методы коллаборативной фильтрации, один из которых реализует модель SVD, является эффективными для прогнозирования музыкальных предпочтений пользователя.

Цель работы — разработать рекомендательную систему для прогнозирования музыкальных предпочтений пользователя, применяя методы коллаборативной фильтрации.

В ходе решения были получены следующие результаты.

1. Приведены критерии согласно которым методы коллаборативной фильтрации применимы для решения поставленной задачи.
2. Реализована модель SVD для прогнозирования музыкальных предпочтений пользователей.
3. Разработана рекомендательная система.

Проведен численный эксперимент, в котором были использованы данные Yahoo! Labs [2]. Выборка данных представляет собой информацию о том, как пользователи оценивали прослушанные музыкальные композиции с 2008 по 2012 годы.

В результате эксперимента были найдены оптимальные параметры модели SVD и было установлено, что рекомендательная система прогнозирует пользовательские оценки с качеством 0,71 балла по метрике RMSE, при этом пользователи оценивают музыкальные композиции по пятибалльной шкале.

*Научный руководитель — к.т.н. Воробьева М.С.*

#### Список литературы

- [1] Ricci F. Recommender Systems Handbook. — N.Y.: Springer, 2001 — 845 p.
- [2] YAHOO INC. Yahoo Labs Datasets. Адрес доступа: <http://webscope.sandbox.yahoo.com/catalog.php?datatype=r> (дата обращения: 07.05.2015).

#### 2.24. Еримбетова А.С., Ефимова Л.В. Анализ текстов на естественном языке с помощью синтаксического анализатора Link Grammar Parser и семантической компоненты системы Dialing

Работа направлена на исследование базовых понятий, относящихся к формальным онтологиям и тезаурусам и на разработку практических методов по проектированию, созданию и применению онтологий в интеллектуальном программном обеспечении. Центральное место отводится тематике информационного поиска и анализа текстовой информации. Рассматриваются тексты на русском, английском и ряде тюркских языков таких, как казахский, узбекский (варианты на кириллице и латинице) и ту-

рецкий В качестве программного инструментария для создания онтологий используются синтаксический анализатор Link Grammar Parser [1] и семантическая компонента системы Dialing [2]. В дальнейшем также предполагается использовать редактор Protege [3]. В части, посвященной проектированию и созданию реальных онтологий рассматриваются онтологии для описания социально-экономических процессов. В частности, процессов происходящих в «быстрорастущих» экономиках: Китай, Корея, Тайвань, Индонезия, Япония и др. Предполагается приложить определенные усилия для создания онтологий, которые могут помочь при анализе процессов, происходящих в Центральной Азии.

Основой для исследований служит статья [4], в которой авторы рассматривают процесс автоматического резюмирования. При этом из текста могут выделяться фрагменты, соответствующие заданной теме. Фрагменты не обязательно следуют друг за другом. В тексте между ними могут присутствовать вставки на другие темы. Далее выделенные фрагменты могут быть объединены в резюме по данной теме. В общем случае из текста могут быть выделены несколько таких резюме, соответствующих различным темам. Одна из возникающих проблем состоит в том, что перестановка слов в предложении может существенно менять его смысл, что приводит к некорректной работе алгоритмов, оперирующих отдельными ключевыми словами, их частотами и т. д. В упомянутой выше работе предложен метод, позволяющий учесть порядок слов и показавший свою эффективность.

Авторы данной статьи предполагают использовать некоторое обобщение данного метода, которое позволяет учесть дополнительно также синтаксические отношения, которые могут быть получены на выходе системы Link Grammar Parser или семантические отношения, выдаваемые семантической компонентой системы Dialing.

#### Список литературы

- [1] TEMPERLEY D., SLEATOR D., LAFFERTY J. Link Grammar Documentation. [Электронный ресурс]. — Pittsburgh: Carnegie-Mellon Univ, 1998. — Адрес доступа: <http://www.link.cs.cmu.edu/link/dict/index.html> (дата обращения: 15.11.2012).
- [2] СОКИРКО А.В. Семантические словари в автоматической обработке текста. Дис ... канд. МГПИИЯ, 2000. — 108 с.
- [3] New Protege Short Course. [Электронный ресурс]. — Stanford Center for Biomedical Informatics Research. Stanford Univ., California, USA. — 2015. Адрес доступа: <http://protege.stanford.edu/> (дата обращения: 15.09.2015).
- [4] KUMAR N., SRINATHAN K., VARMA V. Using graph based mapping of co-occurring words and closeness centrality score for summarization evaluation // CICLing Proc. of the 13th Intern. conf. on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing. — 2012. — Vol. 2, P. 353–365.

#### 2.25. Есипенко С.П., Крючкова Е.Н. Выбор функции правдоподобия при решении задачи отслеживания позы человека с помощью алгоритма фильтрации частиц

Работа посвящена исследованию решения задачи отслеживания позы человека на видеоизображении [1] с помощью алгоритма CONDENSATION [2], который является одной из разновидностей алгоритма фильтрации частиц (Particle Filtering). Основное внимание уделено анализу ключевого элемента алгоритма — функции правдоподобия (likelihood function, observation function).

Описаны основные проблемы, связанные с неправильным выбором функции правдоподобия, и даны рекомендации по их обнаружению в процессе работы алгоритма фильтрации частиц. Также, в качестве универсальной основы для проектирования функций правдоподобия рассматривается параметрическая функция предложенная в работе [3].

В работе представлено описание базового решения задачи отслеживания позы человека. Конечности моделируются цилиндрами, движение которых описывается динамической системой первого порядка. На основе данного решения сравниваются три функции правдоподобия, основанных на различных метриках (евклидово расстояние, метрика на основе метода Chamfer Matching и на основе метода Gradient Direction Matching). Отмечено сильное влияние выбора функции правдоподобия на точность отслеживания позы человека.

Также рассмотрена модификация алгоритма фильтрации частиц с отжигом (Annealed Particle Filtering) [4]. Применение этого эвристического метода позволило получить более стабильное отслеживание позы человека при меньших вычислительных затратах.

#### Список литературы

- [1] SIDENBLADH H., BLACK M., FLEET D. Stochastic Tracking of 3D Human Figures Using 2D Image Motion // European Conf. on Computer Vision. — 2000. — P. 702–718.
- [2] ISARD M., BLAKE A. CONDENSATION — conditional density propagation for visual tracking // Intern. J. Computer vision. — 1998. — Vol. 29, N 1, P. 5–28.
- [3] LICHTENAUER J., REINDERS M., HENDRIKS E. Influence of The Observation Likelihood Function on Particle Filtering Performance in Tracking Applications // Sixth Intern. conf. on Automatic Face and Gesture Recognition. — 2004. — P. 767–772.
- [4] GALL J., POTTHOFF J., SCHNORR C. ET AL. Interacting and Annealing Particle Filters: Mathematics and a Recipe for Applications // J. Mathematical Imaging and Vision. — 2007. — Vol. 28, N 1, P. 1–18.

#### 2.26. Жилов Р.А. Алгоритм оптимизации когнитивных карт для задач принятия решений

В работе представлен метод оптимального построения когнитивных карт, заключающийся в оптимизации входных данных, размерности данных и структуры когнитивной карты [1]. Одним из известных направлений уменьшения внутренней размерности данных является кластеризация данных. Кластерный анализ позволяет разбивать множество данных на конечное число однородных групп. Из всех методов кластерного анализа самыми распространенными являются иерархические агломеративные методы. Сущность этих методов заключается в том, что на первом шаге каждый объект рассматривается как отдельный кластер. Процесс объединения кластеров происходит последовательно: на основании матрицы расстояний или матрицы сходства объединяются наиболее близкие объекты. В работе представлен алгоритм иерархического кластерного анализа в общем виде.

Оптимизация структуры когнитивной карты заключается в автоматической подстройке весов влияния концептов друг на друга методами машинного обучения. Когнитивную карту можно представить в виде однослойной нейронной сети. Все входные сигналы подаются всем нейронам. Выходными сигналами сети могут быть все или некоторые выходные сигналы нейронов после нескольких тактов функционирования сети. Для обучения когнитивной карты подходит метод обучения однослойных нейронных сетей, предложенный Розенблаттом [2]. Суть метода состоит в итерационной подстройке матрицы весов, последовательно уменьшающей ошибку в выходных векторах. В работе представлен алгоритм для автоматизации данного метода. Такая процедура оптимизирует веса связей в когнитивной карте для последующего прогнозирования развития системы.

Составив когнитивную карту подстраиваем веса влияния алгоритмами обучения однослойных нейронных сетей (обучаем когнитивную карту). Данная процедура делает когнитивную карту более эффективной. Единственным условием для корректной подстройки весов является наличие обучающей выборки (данные функционирования системы по которой строится когнитивная карта за предыдущие этапы времени).

#### Список литературы

- [1] Жилов Р.А. Применение нечетких когнитивных карт в системах принятия решений // Матер. Всерос. науч. конф. молодых ученых «Современные вопросы математической физики, математической биологии и информатики». — Нальчик, 2014. — С. 54–55.
- [2] Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики (перцептрон и теория механизмов мозга). — М.: Мир, 1965. — 480 с.

#### 2.27. Жучков Д.В. **Пакетная передача сведений об объектах реляционной базы данных в распределенной сети учреждений**

В докладе представлено решение задачи организации пакетной передачи сведений об объектах реляционной базы данных в распределенной сети учреждений.

Предлагаемый подход основан на использовании транспортного веб-узла, работающего по протоколу HTTP, и обеспечивает двусторонний пакетный обмен данными между разрозненными точками, имеющими доступ к сети Интернет.

Передаваемая информация упаковывается в пакеты, каждый из которых включает информационный заголовок, тело пакета и прилагающиеся файлы. Заголовок пакета является XML-файлом и содержит информацию об отправителе и адресате пакета, а также базовые сведения об информации, передаваемой в теле пакета. Тело пакета представляет собой XML-файл, имеющий типовую унифицированную структуру. Прилагаемые к пакету файлы имеют произвольный бинарный формат и, в том числе, могут содержать электронную подпись пакета или другие электронные документы.

Унификация XML-структуры тела пакетов достигается за счет использования глобального дерева объектов. Для всех типов объектов определены базовые свойства — наименование, глобальный идентификатор, период действия и т. д. Для сложных объектов, имеющих большое количество свойств, предусмотрена возможность передачи дополнительных характеристик в виде табличных данных. Наиболее сложные из объектов могут включать вложенное иерархическое дерево табличных сведений, сформированное в соответствии с настройками системы.

Использование при передаче данных глобальных идентификаторов типа GUID позволяет обеспечить уникальную идентификацию объектов в разных базах данных, а оригинальная процедура согласования ключей сохраняет ссылочную целостность данных при передаче между базами.

Актуальным практическим результатом работы является программный инструментарий, обеспечивающий возможность синхронизации реляционных баз данных различных учреждений за счет оперативного обмена сведениями, включая передачу документов в электронном виде.

#### 2.28. Зуев А.В. **Исследование применения канального ресурса в когнитивных сетях связи**

В настоящее время во многих странах проводятся работы с использованием новой технологии когнитивного радио, CR (cognitive radio). В рамках технологии CR происходит идентификация временно свободных полос (частот) радиочастотного спектра, РЧС, которые ранее выделялись для использования различным радиослужбам. Технология CR позволяет временно занимать такие «белые пятна» («white spots») для приема и передачи информации, при условии отсутствия помех для дру-

гих радиоэлектронных средств, РЭС в выбранном диапазоне [1].

Исследования технологии когнитивного сети на основе SDR позволяют использовать MAC-уровень с целью определения возможных технических характеристик и параметров канала связи. В исследовании было рассмотрено взаимодействие между узлами SDR (РЭС) пользователей сети радиодоступа на основе принципов когнитивного радио. Когнитивное радио идентифицирует временно свободные части радиочастотного спектра и временно занимает эти «белые пятна» для приема и передачи информации, не создавая помех другим средствам, в выбранном диапазоне [2]. Исследование проводилось методами имитационного моделирования с использованием пакета ns2 и специального модуля для моделирования когнитивных сетей CRCN. Программный симулятор ns2 со специальным модуль-патчем для исследования когнитивной сети CRCN (cognitive radio cognitive network), который предлагает поддержку моделирования многоканальной структуры сети. Патч CRCN используется на основе сетевого симулятора ns2 версии 2.31 и операционной системе Linux Ubuntu 10.04.

В сетевом симуляторе ns2 с модулем CRCN обеспечивается поддержка моделирования MAC-уровня для когнитивного радио. При этом доступна следующая функциональность.

1. Моделирование многоканальной среды передачи.
2. Интерфейс для выбора канала.
3. Выбор мощности передачи.
4. Информация о помехах.
5. Информация о передвижении РЭС [3].

Прототип исследуемой сети был разработан с помощью сценария и настроек CRCN, относящихся к изучению конкретных аспектов когнитивного радио в перспективных беспроводных ШПД. При разработке сценариев использовалась многоканальная структура сети.

Был предложен алгоритм моделирования многоканальной структуры сети радиодоступа на основе протокола 802.11af. Этот алгоритм позволяет узлу SDR последовательно получать доступ к нескольким каналам и в течении заданного интервала времени, вводимого как пороговое ограничение, динамически переключаться между каналами. Использование такого алгоритма позволяет избежать существенного числа коллизий при работе сети [4]. Результаты проделанной работы показали, что оптимальное количество каналов для исследуемой сети — это десятиканальная структура на приеме и пяти канальная структура на передаче. Исследования в дальнейшем могут быть использованы в части определения оптимального количества каналов для использования в когнитивных сетях на основе устройств SDR.

*Научный руководитель — к.т.н. Гребешков А.Ю.*

#### Список литературы

- [1] ГРЕБЕШКОВ А.Ю., ЗУЕВ А.В. Исследование доступа к каналам передачи в реконфигурируемых когнитивных сетях связи следующего поколения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2015. — Т. 9, № 6, С. 9–14.
- [2] ГРЕБЕШКОВ А.Ю., ЗУЕВ А.В., МИНГАЗОВ В.Г. XIV Междунар. научн.-техн. конф. «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций». Самара: Изд-во учебной и научной литературы Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, 2013. — С. 156–159.
- [3] ZHANG Y. Cognitive radio networks: architectures, protocols, and standards. — UK: CRC Press, 2010. — 525 p.
- [4] ГУРЬЯНОВ И.О. Когнитивное радио: новые подходы к обеспечению радиочастотным ресурсом перспективных радиотехнологий // Электросвязь. — 2012. — № 8, С. 5–8.

#### 2.29. Кабанов А.А., Диденко А.О. Геодинамический мониторинг очаговых зон сильных землетрясений

Геодинамический мониторинг является обязательным элементом государственной системы безопасности в сейсмически активных регионах. Научно-методические основы геодинамического мониторинга исторически развиваются в рамках РАН. Кроме мониторинговых сетей РАН, на территории РФ функционируют геодинамические полигоны различных ведомств (Минобороны, МЧС РФ, МПР, Минэнерго, Минатом). Начиная с 2000 года получили развитие и региональные наблюдательные геодинамические сети в различных субъектах федерации (Красноярский край, Кемеровская область, республика Тыва). При этом, используются как сейсмологические сети, так и комплексные сети, регистрирующие различные геолого-геофизические параметры.

В МПР РФ мониторинг эндогенных процессов базируется на гидрогеодеформационном поле Земли (ГГД мониторинг). В различных сейсмоактивных регионах России (Кавказ, Алтае-Саянская область, Камчатка, Сахалин) получили развитие геофизические полигоны для контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) геологической среды в промышленных зонах, включая крупные города, для прогноза сейсмической опасности. При этом, идеология развития геодинамических полигонов МПР РФ базируется на комплексировании различных геолого-геофизических методов (сейсмология, электромагнитные измерения, ГГД мониторинг, мониторинг газов и т. д.).

Вместе с тем, несмотря на длительное использование комплекса геолого-геофизических методов, применяемых на геодинамическом мониторинге, нормативно-методическая основа упомянутого комплекса не разработана. В основном регламентиро-

ваны такие виды геодинамического мониторинга как ГГД мониторинг; разработаны нормативные документы для организации и эксплуатации сейсмологических сетей в системе РАН; электромагнитный мониторинг, в частности на основе регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), осуществляемого пока на основе авторских разработок; мониторинг радона и других газов, осуществляемый также на основе разработок различных исследователей.

За последние 10 лет накоплен значительный экспериментальный материал геолого-геофизических методов, используемых на геодинамических полигонах МПР РФ. В настоящей работе обобщены данные комплекса геолого-геофизических методов (ГГД поля, сейсмология, ЕИЭМПЗ, эмиссия радона) на геодинамических полигонах в Сибири и на Дальнем Востоке в 2007–2014 годах для оценки изменения НДС геологической среды и прогноза сейсмических событий.

### 2.30. Карасева Т.С., Мамонтов Д.Ю. Сравнение эффективности методов интеллектуального анализа данных при решении задач банковской сферы

В настоящее время все более актуальным становится применение методов интеллектуального анализа данных в банковской сфере. В ходе данной работы были протестированы методы классификации при решении пяти различных задач данной области. Анализ данных осуществлялся с помощью системы RapidMiner [1]. Были использованы алгоритмы: наивный байесовский классификатор (NB); индукция правил (IR); метод  $k$  ближайших соседей ( $k$ -NN); дерево решений (DT); нейронная сеть (ANN); линейный дискриминантный анализ (LDA); случайный лес (RF). Проведено сравнение используемых методов на наличие статистически значимого различия. Далее указаны методы показавшие лучшую (Best) и худшую (Worst) эффективность в каждой из задач.

Задача № 1 Best: DT, IR, NB; Worst: LDA.

Задача № 2 Best: DT, IR; Worst: ANN.

Задача № 3 Best: DT, IR, ANN,  $k$ -NN; Worst: LDA.

Задача № 4 Best:  $k$ -NN; Worst: LDA.

Задача № 5 Best: DT, NB, IR, ANN, LDA, RF; Worst:  $k$ -NN.

Далее были реализованы два типа ансамблей. Первый содержит методы, показавшие наилучшую точность, второй — два метода, показавшие наибольшую точность, и метод с наименьшим результатом вектора производительности. Использование оператора ансамблирования позволило увеличить точность классификации. Последние мета-методы, которые были опробованы, это Баггинг (BG) (разновидность ансамбля для одного алгоритма) и Бустинг (BT).

Далее приведены результаты для всех поставленных задач. В скобках указаны алгоритмы для которых применялись выбранные мета-методы.

Задача № 1. BG (DT): 83,72%; BT (DT): 83,45%.

Задача № 2. BG (IR): 92,57%; BT (IR): 89,06%.

Задача № 3. BG (DT): 93,17%; BT (DT): 94,07%.

Задача № 4. BG ( $k$ -NN): 93,80%; BT ( $k$ -NN): 100%.

Задача № 5. BG (LDA): 76,50%; BT (LDA): 77,00%.

Можно сделать вывод, что для различных задач банковской сферы эффективными оказываются различные методы, а используемая система RapidMiner не обеспечивает достаточную точность, поэтому следует использовать другие системы, содержащие, такие подходы, как генетическое программирование [2], в том числе самонастраивающиеся методы [3].

### Список литературы

- [1] RapidMiner [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <https://rapidminer.com> (дата обращения: 11.09.2015).
- [2] Семенкин Е.С., Шабалов А.А., Ефимов С.Н. Автоматизированное проектирование коллективов интеллектуальных информационных технологий методом генетического программирования // Вест. СибГАУ. — 2011. — № 3 (36), С. 77–81.
- [3] SEMENKIN E., SEMENKINA M. Self-configuring genetic programming algorithm with modified uniform crossover // 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC-2012). — 2012. — P. 6256587.

### 2.31. Кузнецов В.А. Анализ производительности системы доступа к файловому архиву спутниковых снимков

В докладе приводятся результаты анализа производительности разработанной автором системы доступа к файловому архиву спутниковых снимков hVault. Система hVault основана на отображении данных спутниковых снимков в виртуальную таблицу реляционной базы данных PostgreSQL с помощью специализированного модуля доступа к внешним данным. Таким образом, для исходно неструктурированных спутниковых снимков становится возможным выполнение произвольных запросов на языке SQL, что значительно упрощает разработку алгоритмов обработки данных.

На примере расчета индекса пространственных аномалий RETIRA [1] будет проанализирована производительность системы в сравнении с немодифицированной СУБД и специализированным программным обеспечением для данной задачи. Также будут рассмотрены особенности связанные с бенчмаркингом таких систем.

### Список литературы

- [1] TRAMUTOLI V. ET AL. On the possible origin of thermal infrared radiation (TIR) anomalies in earthquake-prone areas observed using robust satellite techniques (RST) // Chemical Geology. — 2013. — Vol. 339, P. 157–168.

**2.32. Колчинский В.А., Каменев О.Т., Петров М.Ю. Алгоритм стабилизации сигнала волоконно-оптического интерферометра-деформометра**

Основная проблема в практическом применении волоконно-оптических интерферометрических систем мониторинга сейсмоакустических сигналов является паразитное влияние температуры окружающей среды. Влияние связано с периодическим изменением чувствительности интерферометра, вызванным дрейфом рабочей точки по передаточной характеристике интерферометра при изменении температуры окружающей среды. Решение данной проблемы возможно в случае применения в опорном плече интерферометра — устройства регулировки рабочей точки — фазового модулятора, управляемого сигналом обратной связи, формируемым при смещении рабочей точки интерферометра от оптимального положения. В лабораторных условиях хороший результат дает ручная регулировка, однако в полевых условиях такой способ стабилизации малоэффективен. Современные средства автоматизации процессов сбора и обработки измерительной информации открывают возможность автоматической стабилизации рабочей точки интерферометра с использованием ПК и АЦП-ЦАП. Управление таким аппаратным комплексом должно осуществляться по специально разработанному алгоритму, учитывающему все особенности функционирования волоконно-оптического интерферометра-деформометра.

В работе представлен алгоритм стабилизации рабочей точки волоконно-оптического интерферометра-деформометра, обеспечивающий стабильность его чувствительности. Алгоритм реализован в виде компьютерной программы и испытан в составе аппаратно-программного измерительного комплекса на основе волоконно-оптического интерферометра-деформометра. Показано, что программная реализация предложенного алгоритма обеспечивает возможность одновременной регистрации деформометром как сейсмосигналов, так и изменения температуры окружающей среды.

**2.33. Кондратьев Д.А. Семантические метки в проекте C-light**

В Институте систем информатики СО РАН ведется разработка системы C-light [1] для дедуктивной верификации программ на языке C. Ее теоретической базой является метод Хоара, основанный на правилах вывода условий корректности (УК). По ним создается генератор условий корректности (ГУК). Одной из целей проекта C-light является разработка расширяемого самоприменимого ГУК [2] для языка C. В качестве средства достижения данной цели был выбран метод метагенерации УК [3]. Метагенератор принимает на входе правила вывода в специальном

формате и автоматически порождает ГУК по логике Хоара.

Верификация программ в логике Хоара основывается на построении и доказательстве УК, но не предлагает поддержку анализа, трассировки и объяснения самих УК. Метод метагенерации позволил удобным способом дополнить проект C-light таким расширением правил Хоара, основанным на концепции семантических меток [4], что само по себе исчисление может использоваться для построения объяснений УК. Построение объяснений возможно для различных аспектов УК, в проекте C-light объяснения строятся для их структуры и целей. Также в нашем методе, в отличие от исходной концепции [4], вводится иерархия на метках.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-01-05974).*

**Список литературы**

- [1] МАРЬЯСОВ И.В., НЕПОМНЯЩИЙ В.А., ПРОМСКИЙ А.В., КОНДРАТЬЕВ Д.А. Автоматическая верификация C-программ на основе смешанной аксиоматической семантики // Моделирование и анализ информационных систем. — 2013. — Т. 20, № 6, С. 52–63.
- [2] КОНДРАТЬЕВ Д.А., ПРОМСКИЙ А.В. Разработка самоприменимой системы верификации. Теория и практика // Моделирование и анализ информационных систем. — 2014. — Т. 21, № 6, С. 70–81.
- [3] MORICONI M., SCHWARTS R.L. Automatic Construction of Verification Condition Generators From Hoare Logics // Lect. Notes Comput. Sci. — Berlin etc. — 1981. — Vol. 115, P. 363–377.
- [4] DENNEY E., FISCHER B. Explaining Verification Conditions // Proc. AMAST 2008. LNCS. — 2008. — Vol. 5140, P. 145–159.

**2.34. Кононов Д.Д. Средства автоматизированного мониторинга контента веб-пространства научно-образовательных ресурсов Красноярского края**

Работа посвящена разработке средства автоматизированного мониторинга контента на примере веб-сообщества образовательных ресурсов Красноярского края. В рамках данной работы выполнен анализ связности сайтов данного сообщества за 2013 и 2014 годы.

Спроектирована концептуальная модель данных для хранения информации о сайтах как элементах веб-пространства. Полученная модель позволяет сохранять полную информацию о сайтах, страницах и связях между ними посредством ссылок. Ссылки имеют уровни: 1-й уровень — ссылка между страницами одного сайта; 2-й уровень — ссылка между разными сайтами внутри исследуемого сообщества; 3-й уровень — ссылка на сайты, не входящие в исследуемое сообщество. Также модель позволяет отслеживать динамику изменения элементов модели во времени с сохранением истории изменения. Временные

срезы осуществляются посредством создания снимков сайтов. Снимок включает полную карту связности страниц сайтов в рамках заданного сообщества. На основе концептуальной модели создана реляционная модель данных.

Разработаны параллельные алгоритмы обхода сайтов на основе модели гипервизора [1]. Гипервизор управляет обработчиками, осуществляя их запуск, остановку и контроль выполнения заданий. Разработаны алгоритмы обработки страниц сайтов с вычлениением метаинформации и ключевых слов. Также реализованы методы снижения нагрузки на веб-сервера при обходе сайтов сообщества.

На основе разработанных алгоритмов реализована автоматизированная система мониторинга контента веб-ресурсов. В системе используется расширенная ролевая модель безопасности [2]. Система реализована на языке PHP с использованием библиотек CURL, PDO, PCRE, phpQuery. В качестве СУБД для хранения данных используется PostgreSQL.

Система использовалась для анализа связности научно-образовательных ресурсов Красноярского края за 2013 и 2014 годы. В настоящее время в системе зарегистрировано 27 научно-образовательных организаций, имеющих 70 сайтов. В системе хранится 315145 страниц с общим объемом 10.5 Гб, 170678 ресурсов (файлов) с общим объемом 100.52 Гб, 6552857 ссылок 1-го уровня, 3822 ссылок 2-го уровня, 2585509 ссылок 3-го уровня и 4021767 ссылок на ресурсы. Также зарегистрировано 6065 внешних сайтов, имеющих 148258 уникальных страниц.

В рамках проведенного исследования выявлена тенденция к увеличению объема сайтов и количества размещаемых электронных документов. Установлено малое число ссылок 2-го уровня, что свидетельствует о слабой связности между членами данного сообщества. Одновременно высокое число ссылок 3-го уровня показывает высокую степень связности с внешними сайтами. Также установлено активное использование средств социальных сетей на страницах сайтов сообщества.

*Работа выполнялась в рамках Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 21 «Исследование закономерностей и тенденций развития самоорганизующихся систем на примере веб-пространства и биологических сообществ».*

#### Список литературы

- [1] YANG X., LIU L. Principles, Methodologies, and Service-Oriented Approaches for Cloud Computing. — ISI Global, 2013. — 452 p.
- [2] Кононов Д.Д., Исаев С.В. Модель безопасности веб-приложений на основе мандатного ролевого разграничения доступа // Вест. БГУ. — 2012. — № 9, С. 29–32.

#### 2.35. Коробко А.А. Синхронизация веб-системы сбора данных и централизованного хранилища мониторинговых данных

Для поддержки предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, защиты населения и социально важных объектов в Красноярском крае создана система консолидации и анализа данных. Информационно-аналитическим ядром системы является централизованное хранилище данных, в которое стекается информация из всех доступных источников. В качестве источников данных выступают датчики мониторинга состояния окружающей среды, общедоступные ресурсы, отчетные формы, предоставляемые территориальными центрами мониторинга и прогнозирования ЧС. Оперативный сбор отчетных данных осуществляется с помощью специализированной веб-системы сбора данных, которая обеспечивает оперативный доступ поставщиков информации к формам ввода, а головным организациям доступ к первичной информации. Оперативность аналитической обработки собранных данных достигается за счет своевременной синхронизации базы данных веб-системы сбора данных и консолидированного хранилища данных системы мониторинга ЧС.

В работе предложен алгоритм синхронизации веб-системы сбора данных и централизованного хранилища данных. Основное преимущество алгоритма перед стандартными средствами репликации заключается в избирательном обновлении информации в соответствии с территориальной принадлежностью получателей данных и их уровнями доступа. Предложенный адаптивный подход учитывает возможность удаленного размещения системы сбора, ограничения сторонних технологических площадок и требования технологии хранилища данных. Реализация предложенного алгоритма позволяет осуществлять оперативный перенос собранной первичной информации в централизованное хранилище данных системы мониторинга ЧС, повышая своевременность и эффективность мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на территории Красноярского края.

#### 2.36. Коробко А.В. Построение аналитической объектной модели нормализованной реляционной базы данных

Развитие информационных технологий обеспечило формирование обширного неоднородного информационного пространства данных. Совместный оперативный анализ разрозненных фрагментов информации в рамках одной предметной области и за ее пределами позволит существенно повысить эффективность принимаемых организационных решений. Одной из наиболее востребованных и эффективных технологий аналитической обработки данных оста-

ется OLAP за счет представления данных в виде естественной для восприятия, многомерной модели (multidimensional data model), и возможности получения результатов анализа «на лету». Актуальной становится задача развития технологии OLAP в части обеспечения совместной аналитической обработки данных из разрозненных источников. Ключевой задачей интеграции данных является преодоление разнородности объединяемых фрагментов данных. Как правило, эта задача решается за счет создания единой, глобальной для всех источников, модели данных. В соответствии с авторским подходом к аналитической интеграции данных, целесообразна разработка интегральной модели в терминах технологии OLAP, с учетом сопоставимости объектов анализа. В работе предложен подход к формированию аналитической объектной модели источника на основе анализа минимального покрытия множества функциональных зависимостей нормализованной реляционной базы данных. Подход заключается в анализе графа функциональных зависимостей и преобразовании атрибутов реляционной схемы в объекты многомерной модели данных и отношения зависимости в отношении аналитической сопоставимости. Формализация процесса формирования частных аналитических объектных моделей источника позволит развивать методы аналитической интеграции гетерогенных источников данных на основе интегральной OLAP-модели заданного информационного пространства.

### 2.37. Коршунов С.А., Дородных Н.О. Визуализация пространственно-временных сцен на основе их императивного описания и онтологий

Визуализация результатов имитационного моделирования традиционно считается второстепенной задачей при исследовании и моделировании систем различной природы. Подобное отношение обуславливает недостаточное теоретическое и практическое развитие данной области. В частности, современные средства визуализации результатов имитационного моделирования являются либо «встроенными» системами и обеспечивают низкую когнитивность [1] (качество) создаваемых пространственно-временных сцен (на уровне пикселей и абстрактных графовых структур), используя простейшие универсальные алгоритмы и математические выражения, либо «внешними» специализированными программными комплексами, требующими навыков профессиональных дизайнеров и использующих сложные математические и физические абстракции [2]. При этом отсутствуют системы визуализации, использующие унифицированный подход, например, на основе онтологического моделирования, и обеспечивающие синтез (автоматическое создание) описания пространственно-временных сцен. Создание элементов теории и принципов разработки подоб-

ных систем способствовало бы решению проблемы повышения эффективности (снижения трудоемкости) создания пространственно-временных сцен, например, для решения прикладных задач визуализации процессов логистики [3], военных действий [4] или техногенных ЧС.

### Список литературы

- [1] Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. — Москва: Наука, 1991. — 192 с.
- [2] Сравнение средств разработки для создания мультиагентных систем. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/SIMEqual.html> (дата обращения: 24.03.2015).
- [3] Рябинин К.В. Модуль трехмерной визуализации для СИМ TriadNet // Сб. докл. пятой юбилейной Всерос. науч.-практич. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2011). — СПб.: ОАО «ЦТСС», 2011. — Т. 1, С. 186–192.
- [4] Вишнякова Л.В., Дегтярев О.В., Слатин А.В. Имитационное операционное моделирование процессов функционирования сложных авиационных систем и комплексов управления // Сб. докл. пятой юбилейной Всерос. науч.-практич. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2011). — СПб.: ОАО «ЦТСС», 2011. — Т. 1, С. 30–41.

### 2.38. Костелей Я.В. Разработка компьютерного приложения для анализа методов предварительной обработки изображений перед распознаванием образов

Компьютерное зрение — это одна из самых востребованных областей на данном этапе развития глобальных цифровых компьютерных технологий. Одним из примеров использования методов распознавания образов на графических объектах является медицинская диагностика, в которой данная технология решает задачи измерения объектов на рентгенограммах, компьютерных томограммах и цифровых снимков видеокольпоскопии и становится задачей улучшения визуализации.

Использование различных аппаратных средств диагностики накладывает определенные свойства получаемых изображений, затрудняющих решение задачи распознавания, такие как зашумленность, недостаточная освещенность или неравномерное распределение света, размытие изображения при режимах высокого разрешения видеокамер и другие. Данные особенности требуют дополнительной обработки изображений для получения данных, оптимально подходящих для решения задачи.

В свою очередь, распознавание образов на изображении является нетривиальной задачей: существует множество методов, которые обладают определенными свойствами входных и выходных параметров их алгоритмов. Для определения методов, оптимально подходящих для решения поставленной задачи распознавания, необходимо проанализировать изображения, полученные после преобразова-

ния данными методами. Ввиду этого целью данной работы является разработка компьютерного приложения, позволяющего использовать наиболее часто применяемые алгоритмы предварительной обработки изображений перед распознаванием объектов для анализа данных методов.

В данной работе рассматриваются такие методы предварительной обработки изображения, как: преобразование изображения в монохромный и бинарный вид; преобразование изображения с помощью матриц свертки; фильтр Гаусса; медианный фильтр и выравнивание (эквализация) гистограмм; выделение границ с помощью операторов Робертса, Прюитта, Собеля и Канны; методы математической морфологии; алгоритм скелетизации Зонга — Суна.

Описанные в данной работе методы реализованы без использования сторонних библиотек в компьютерном приложении, позволяющем группировать вышеописанные методы с различными входными параметрами (пользовательские матрицы свертки, структурные элементы математической морфологии) для преобразования изображения с возможностью сохранения промежуточных результатов.

*Научный руководитель — Матолыгин А.А.*

### **2.39. Костин К.В. Применение генетических алгоритмов для решения транспортных задач**

Задачи маршрутизации являются ключевыми в областях транспортных перевозок, перемещения и логистики. Обычно на практике такие задачи зависят от большого количества параметров, которые специфичны для каждой конкретной предметной области. Это делает их настолько сложными, что многие существующие алгоритмы очень плохо адаптируются к их решению. С другой стороны, эта же особенность предоставляет простор для новых исследований. Таким образом, поиск алгоритмов, способных находить решения приемлемого качества, является актуальной задачей.

В ходе данной работы были рассмотрены методы решения транспортной задачи и в качестве наиболее приемлемого выбран генетический алгоритм [1]. Алгоритм выбран по следующим причинам.

1. Существует множество методов эффективного распараллеливания алгоритма.
2. Структура удобна для модификации в будущем, при добавлении дополнительных требований к задаче.
3. С данным алгоритмом легко совмещаются другие алгоритмы.

В ходе проделанной работы сформулирована математическая постановка задачи. Реализован многопопуляционный параллельный генетический алгоритм [2], совмещенный с алгоритмами имитации отжига, эвристики улучшения многих маршрутов и земающей прямой, которые были были использо-

ваны в качестве мутаций и способов получения начального приближения к решению.

Анализ результатов работы алгоритма показывает его эффективность в применении к практическим задачам. В сравнении с полным перебором на маленькой размерности задачи алгоритм в большинстве случаев дает оптимальный результат за меньшее время.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Кантор С.А.*

### **Список литературы**

- [1] PEREIRA F.B. Bio-inspired algorithms for the vehicle routing problem / F.B. Pereira, J. Tavares eds. — Coimbra: Springer, 2008. — 221 p.
- [2] A survey of parallel genetic algorithms. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://tracer.uc3m.es/tws/cEA/documents/cant98.pdf> (дата обращения: 27.09.2015).

### **2.40. Костромин Р.О. Организация управления распределенными вычислениями в интегрированной кластерной системе**

В докладе обсуждается международный опыт и направления исследований в области организации и применения высокопроизводительных систем. Предлагается решение проблемы повышения эффективности управления потоками вычислений в Grid-системах путем применения модели с различными уровнями обслуживания заданий, выбор которых регулируется соотношением спроса и предложения ресурсов. Разработка программных средств, реализующих данную модель, осуществляется на основе агентно-ориентированного подхода с использованием инженерных онтологий для концептуализации предметных областей решаемых задач. В качестве узлов Grid-системы используются вычислительные кластеры. Рассматривается подход к организации кластеров и оценке их производительности. При создании кластера применяются система управления вычислительными заданиями Torque, библиотека поддержки параллельных вычислений Open MPI и набор эталонных тестов NPВ для оценки производительности кластеров. Обобщается опыт использования и интеграции вычислительных кластеров в Иркутском научном центре. Рассматриваются модели и методы управления вычислениями на уровне интегрированной кластерной системы, реализуемой мультиагентной системой с заданной организационной структурой, а также прототип мультиагентной системы, реализуемый с помощью инструментария JADE.

Научное значение решения задач, поставленных в докладе, состоит в повышении эффективности распределенных вычислений в интегрированной кластерной системе с применением агентно-ориентированного подхода с использованием инженерных онтологий для концептуализации предметных областей решаемых задач.

*Научный руководитель — Феоктистов А.Г.*

### Список литературы

- [1] Костромин Р.О. Создание вычислительного кластера для проведения оптимизационных расчетов объектов теплоэнергетики. — Иркутск: Изд-во ИС-ЭМ СО РАН, 2013. — № 43, С. 184–192.
- [2] Шамакина А.В. Обзор технологий распределенных вычислений // Вест. Южно-Уральского гос. ун-та. Сер.: Вычислительная математика и информатика. — 2014. — Т. 3, № 3, С. 51–85.
- [3] Market-Oriented Grid and Utility Computing / Buyya R., Bubendorfer K. eds. — N.Y.: Wiley & Sons, 2010. — 643 p.

#### 2.41. Красовицкая К.А. Разработка среды анализа кардиологических данных

Задачей исследования является создание программной системы для анализа кардиологических данных, полученных при помощи сканирования лент ЭКГ. Необходимо распознать временные ряды (отведения электрокардиограммы) на изображении, построить классификации участкам выделенных рядов, анализируя свойства локальных экстремумов. Практическое приложение — автоматизация выделения динамических изменений работающего сердца по ЭКГ ленте, отображающей положение электрической оси сердца (ЭОС), функции возбудимости и рефрактерности волокон миокарда, характеристики нормальной и патологической эволюции ритма, проводимости и процессов реполяризации миокарда, критерии определения которых описаны в [1, 2].

Предметом исследования является повышение качества распознавания линий напряжения на ленте ЭКГ. Под критерием качества понимается максимально возможное соответствие построенных на основе выделенных данных графиков исходному изображению.

Распознавание отведений основывается на выполнении следующих этапов.

1. Из исходного изображения выделяется канал, соответствующий цвету фонаю
2. Копия изображения в красном канале размывается с помощью Гауссовского фильтра
3. Бинарное изображение временного ряда получается в результате применения формулы

$$s(n) = f(n) + \sigma \cdot e(n)$$

(где  $f(n)$  — полезный сигнал;  $\sigma$  — уровень шума;  $e(n)$  — гауссов белый шум) и порогового преобразования [3];

4. Дальнейшие стадии алгоритма базируются на пиксельной обработке полученного изображения.

Распознавание пиков электрокардиограммы реализовано при помощи вейвлет-преобразования. Метод выбран на основе тестирования различных комбинаций и реализаций алгоритмов, найденных в литературных источниках.

*Научный руководитель — к.т.н., доцент Черкашин Е.А.*

### Список литературы

- [1] Мурашко В.В., Струтынский А.В. Электрокардиография. — М.: МЕДпресс-информ, 2008. — 320 с.
- [2] Фрид М., Грайнс С. Кардиология в таблицах и схемах. — М.: «Практика», 2001. — 728 с.
- [3] Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. 4-е изд. — М.: ДМК Пресс, 2008. — 320 с.

#### 2.42. Кривдюк Н.М. Применение когнитивных средств основанных на 2-симплексе в области разработки программных продуктов

Рассматриваются вопросы, связанные с визуализацией и анализом программного кода со стороны использования разработанного программного продукта. В качестве математической модели используется матричное представление данных и знаний, разработанное проф. А.Е. Янковской [1]. Математические основы отображения исследуемого объекта в  $n$ -симплексе основаны на теореме проф. А.Е. Янковской [1, 2].

Исследуемыми объектами в области разработки являются пользовательские истории (User Story). Выделение пользовательских историй из требований к программному продукту в рамках доклада рассматриваться не будет. Пользовательская история имеет один или несколько вариантов использования, которые проверяют различные части (объекты) программного кода.

В качестве характеристических образов берется состояние программного кода по каждой пользовательской истории.

1. Нет изменений — в используемый код не вносились изменения.
2. Есть изменения — в используемый код не вносились изменения.
3. Есть модификации — для данного исследуемого объекта создавалась новая функциональность (новые объекты программного кода).
4. Есть изменения и модификации программного кода.

Когнитивное средство 2-симплекс и 3-симплекс визуализируют изменения в программном коде для выбранных исследуемых объектов. На 3-симплексе одновременно отображаются все характеристические образы. Для визуализации в 2-симплексе предлагается определять два наиболее выраженных образа, а остальные объединить в один образ. Используя 2- и 3-симплексы осуществляется когнитивное моделирование изменений выбранных исследуемых объектов [3].

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 13-07-00373, 13-07-98037) и РГНФ (грант № 13-06-00709).*

*Научный руководитель — д.т.н., проф. Янковская А.Е.*

#### Список литературы

- [1] ЯНКОВСКАЯ А.Е. Логические тесты и средства когнитивной графики. — LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. — 92 с.
- [2] YANKOVSKAYA A., KRIVDYUK N. Cognitive Graphics Tool Based on 3-Simplex for Decision-Making and Substantiation of Decisions in Intelligent System // Proc. IASTED Intern. conf. Technology for Education and Learning. — 2013. — P. 463–469.
- [3] ЯНКОВСКАЯ А.Е., ГАЛКИН Д.В. Математические и компьютерные методы когнитивного моделирования принятия решений в интеллектуальных системах // Тез. докл. четвертой Междунар. конф. по когнитивной науке. — 2010. — Т. 2, С. 606–607.

#### 2.43. Кулясов Н. Влияние наличия информации в системе DNS на активность агентов угроз киберпространства

В связи с постоянным расширением киберпространства появилась необходимость отслеживания активности агентов угроз [1]. В данной работе будет рассмотрена активность агентов для новых элементов киберпространства, какими являются созданные интернет-сервисы, службы и компьютерные сети, до и после регистрации элемента на DNS-сервере.

Для решения данной задачи был организован модельный стенд по типу darknet [2] нацеленный на сбор информации об активности агентов угроз. Для данного стенда было выделено 253 интернет-адреса, ранее не фигурировавших в глобальной сети, а также установлен базовый набор интернет сервисов, состоящий из web и FTP-серверов. Также для регистрации активности был активирован фаервол. Таким образом, обращение к нашему стенду возможно лишь в результате ошибок конфигурации или нелегитимных действий, например, в целях первичной разведки путем сканирования.

Контрольный период функционирования стенда составил 40 суток, по истечении половины тестового времени была произведена регистрация нечетных адресов из выделенного диапазона на DNS-сервере. Во время функционирования стенд вел журналы активности web-сервисов и фаервола. Таким образом, задача исследования активность агентов угроз свелась к анализу данных из журналов. В связи с большим объемом данных появилась необходимость в разработке и реализации алгоритмов для обработки лог-файлов и последующей визуализации результатов [3].

В ходе анализа были получены следующие результаты.

1. За весь период функционирования к стенду было произведено 17646072 обращений от 131085 пользователей.

2. За период без записи в DNS было совершено 12261109 обращений, 8 попыток подбора пароля к FTP-сервису и 108 попыток обнаружения точек входа в административные ресурсы web-сервиса.
3. За второй период 5384963 обращений и 8 попыток доступа обнаружения точек входа в административные ресурсы web-сервиса.
4. Различий в активности агентов угроз по отношению к адресам с записью DNS и без не выявлено.

На основании полученных результатов можно было бы сделать вывод, что запись на DNS-сервере может сократить активность агентов угроз, но если из рассматриваемого периода исключить дни с пиковой активностью, то разница между средним значением активности за сутки составляет 63930 запроса, что на общем фоне незначительно. В связи с этим дальнейшие исследования в данной области по-прежнему актуальны.

#### Список литературы

- [1] ИСАЕВ С.В. Кибербезопасность научного учреждения — активы и угрозы // Информатизация и связь. — 2015. — С. 53–57. — ISSN: 2078-8320.
- [2] МАРКОВ А.С., ЦИРЛОВ В.А. Руководящие указания по кибербезопасности в контексте ISO 27032 // Вопросы кибербезопасности. — 2014. — № 1(2), С. 28–35.
- [3] Кулясов Н.В. Система распознавания интернет угроз по журналам веб-сервисов // Молодой Ученый. — 2015. — № 11(1), С. 79–83.

#### 2.44. Марьин С.В. Адаптация алгоритмов неоплаченного планирования для облачных сред

Задача планирования выполнения композитных приложений (workflow) для облачных сред заключается в определении списка запрашиваемых ресурсов в облаке (как правило, виртуальных) и распределении по ним вычислительных подзадач с целью удовлетворения ограничений по срокам выполнения или стоимости. Предложенный в [1] метод планирования предполагает разделение планирования на две фазы (подбора ресурсов и распределения задач) с последовательным улучшением выборки ресурсов, подаваемых на вход существующего алгоритма облачного планирования в фазе распределения задач. Указанный метод может быть расширен для адаптации существующих алгоритмов планирования для распределенных систем (например, Грид [2]), не учитывающих специфику облачных вычислений. Для этого в данной работе предлагается универсальный подход, позволяющий использование произвольного алгоритма планирования композитных приложений в качестве фазы распределения задач, без необходимости внесения в него концептуальных изменений. Предложена модификация эволюционного алгоритма фазы выбора ресурсов для учета случая, когда алгоритм распределения задач не может сформировать корректный план (например, ес-

ли для части задач не запущена ни одна подходящая виртуальная машина). Считается, что все нераспределенные вычислительные подзадачи запускаются последовательно одна за другой, каждая на отдельном наиболее быстром для нее вычислительном ресурсе. Стоимость этих ресурсов и штраф за превышение сроков (если таковой имеется) добавляется к полученному значению фитнес-функции. Варьирование способа задания фитнес-функции является возможностью выбора компромисса между точностью соблюдения сроков и уменьшением стоимости выполнения.

Проведена экспериментальная проверка предложенного подхода на примере эвристики планирования Min-Min [2] в сравнении с эталонным немодифицированным алгоритмом IC-PCPD2 [3], учитывающим специфику облачных вычислений. Имитационное моделирование на основе параметров реальных облачных систем и композитных приложений, используемых в различных областях науки, показало двухкратное уменьшение стоимости выполнения композитных приложений при использовании адаптированного алгоритма по сравнению с эталонным. *Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-6628.2014.9.*

#### Список литературы

- [1] МАРЬИН С.В. Двухфазное планирование выполнения композитных приложений в облачных средах // Тез. докл. XV Всерос. конф. молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. — 2014. — С. 70.
- [2] YU J., BUYA R., RAMAMOANARAO K. Workflow scheduling algorithms for grid computing // Metaheuristics for scheduling in distributed computing environments. — Springer Berlin Heidelberg, 2008. — P. 173–214.
- [3] AVRISHAMI S., NAGHIZADEH M., ЕРЕМА D.H.J. Deadline-constrained workflow scheduling algorithms for Infrastructure as a Service Clouds // Future Generation Computer Systems. — 2013. — Vol. 29, N 1, P. 158–169.

#### 2.45. Мельников П.В., Рылов С.А., Синявский Ю.Н., Пестунов И.А. **Технология формирования тематических слоев для сегментации спутниковых изображений высокого пространственного разрешения**

Характерной особенностью спутниковых изображений высокого пространственного разрешения является то, что значительная часть информации, необходимая для их анализа, содержится в пространственных характеристиках, а также в накопленных базах данных, априорной информации и т. п.

В докладе рассматривается схема единообразного представления данных и технология сегментации изображений высокого разрешения, позволяющие

при обработке использовать всю доступную разнородную информацию. Все имеющиеся данные используются для формирования набора растровых слоев, которые при дальнейшей обработке рассматриваются как дополнительные признаки.

Полученные слои можно разделить на слои данных и тематические слои. Содержимое слоев данных не зависит от особенностей решаемой задачи, их формирование выполняется без участия пользователя. Например, спектральные каналы исходного изображения, карты, генерируемые автоматически или построенные ранее и т. п. Для генерации тематических слоев необходимо участие эксперта. К ним относятся бинарные маски, построенные на основе имеющихся априорных знаний и предназначенные для выделения конкретных типов объектов.

Программная реализация предлагаемой технологии опирается на оригинальные алгоритмы сегментации по спектральным [1, 2] и текстурным [3] признакам, а также методы формирования пространственных масок водных, антропогенных и других объектов. Алгоритмы реализованы в виде веб-сервисов (WPS-процессов), что позволяет решать практические задачи на стороне пользователя.

#### Список литературы

- [1] ПЕСТУНОВ И.А., БЕРИКОВ В.Б., СИНЯВСКИЙ Ю.Н. Сегментация многоспектральных изображений на основе ансамбля непараметрических алгоритмов кластеризации // Вест. СибГАУ — 2010. — № 5 (31). — С. 56–64.
- [2] ПЕСТУНОВ И.А., РЫЛОВ С.А., БЕРИКОВ В.Б. Иерархические алгоритмы кластеризации для сегментации мультиспектральных изображений // Автометрия. — 2015. — Т. 54, № 4. С. 12–22.
- [3] ПЕСТУНОВ И.А., РЫЛОВ С.А. Алгоритмы спектрально-текстурной сегментации спутниковых изображений высокого пространственного разрешения // Вест. КемГУ. — 2012. — Т. 52, № 4/2. С. 104–110.

#### 2.46. Михайлов А.А. **Алгоритм раскладки уграфа на плоскости**

В программировании графы являются одной из основных структур данных. Управляющий граф — это естественное представление программы, которое может быть вычислено автоматически как по исходному, так и по бинарному коду. Граф используется в качестве промежуточного представления программы компилятором для проведения внутренних оптимизирующих преобразований.

Исходный код в текстовом представлении содержит в себе всю необходимую информацию о поведении программы. Однако его анализ часто является сложной задачей, даже при том, что современные интегрированные среды разработки поддерживают интеллектуальные механизмы, значительно ее упрощающие.

Для анализа бинарного кода используются специализированные программы — дизассемблеры и де-

компиляторы. Анализ ассемблерного кода — сложная и трудоемкая задача, требующая от специалиста обширных знаний. В то же время декомпиляция произвольного исполняемого файла не всегда возможна, и в некоторых случаях восстановленный код более труден для восприятия, чем ассемблерный.

Альтернативным способом является анализ визуального представления потока управления программы. В настоящее время существует большой выбор универсальных систем визуальной обработки графовых моделей, таких как uDraw (daVinci) [1], VCG [2], Graphlet, GraVis, Graph Drawing Server [3], graphViz, VisualGraph [4]. Несмотря на то, что таких систем достаточно много, все они обладают недостатками. Например, применительно к задаче визуализации графа потоков управления подобные системы не учитывают особенности и характерные черты таких графов.

Исходя из вышесказанного, визуализация атрибутивных графовых моделей является актуальной задачей и требует отдельного рассмотрения с учетом специфики природы их возникновения.

В работе предложен метод визуализации графа потоков управления, позволяющий анализировать сложные графовые представления программ, полученные после обработки исходного кода компилятором, либо в процессе декомпиляции исполняемого кода. Метод основан на выделении в управляющем графе регионов с одним входным и одним выходным узлом с последующей их заменой на абстрактные узлы. Таким образом, в результате выполнения семантически эквивалентных преобразований исходный граф сворачивается в один абстрактный узел, содержащий в себе иерархию выделенных регионов, каждому из которых ставится в соответствие один из предопределенных шаблонов отображения. В итоге задача визуализации управляющего графа сводится к описанию правил отображения шаблонов. Предложенный метод позволяет выделять в управляющем графе подграфы соответствующие высокоуровневым операторам языков программирования, что дает возможность использовать изобразительные соглашения, принятые при рисовании блок-схем.

#### Список литературы

- [1] FROHLICH M., WERNER M. Demonstration of the Interactive Graph — Visualization System daVinci // LNCS 894. — 1995. — P. 266–269.
  - [2] SANDER G. Graph layout through the VCG tool // LNCS 894. — 1995. — P. 194–205.
  - [3] BRIDGEMAN S., GARG A., TAMASSIA R. A graph drawing and translation service on the WWW // LNCS 1190. — 1996. — P. 45–52.
  - [4] Золотухин Т.А. Визуализация графов при помощи программного средства Visual Graph // Информатика в науке и образовании. — 2012. — С. 135–148.
- 2.47. Мязгов В.В. Анализ фрактальных характеристик сварных швов по микрофотографиям сварки взрывом**
- В данной работе осуществляется анализ микрофотографий сплавов, полученных с помощью сварки взрывом, с целью определения фрактальной размерности каждого из веществ, участвующих в сплаве. Для того, чтобы рассчитать фрактальную размерность [1], на микрофотографии определяется область нахождения каждого вещества. Точность кластеризации оказывает существенное влияние на получаемую в дальнейшем фрактальную размерность.
- В рамках исследования были проведены численные эксперименты с использованием методов [2].
1. Нахождение сварного шва с помощью алгоритма Canny. Метод хорошо показывает себя при равномерной освещенности. При плохой освещенности и недостаточном градиенте на границе не удается получить целостный контур.
  2. Кластеризация изображения с помощью алгоритма OTSU бинаризации. Метод хорошо работает для тех микрофотографий, вещества, изображенные на которых, легко различимы по цвету, однако для изображений плохой контрастности метод OTSU бинаризации будет давать неудовлетворительные результаты.
  3. Кластеризация изображения с помощью алгоритма адаптивной бинаризации. Такая бинаризация помогает справиться с проблемами неравномерного освещения и отчетливо выделяет сварной шов, однако для сильно размытых изображений метод показал неудовлетворительные результаты при определении шва.
  4. Кластеризация изображения с помощью значения яркости по шкалам RGB и HSV. Метод неплохо показывает себя для легко отличимых по цвету изображений, однако результаты метода подвержены влиянию неравномерного освещения.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Крючкова Е.Н.*

#### Список литературы

- [1] МАНДЕЛЬБРОТ Б. Фрактальная геометрия природы. — Москва: Изд-во ИКИ, 2002. — 654 с.
- [2] OpenCV: Miscellaneous image transformation. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://docs.opencv.org> (дата обращения 25.09.2015).

#### **2.48. Носырева Е.В., Массель Л.В. Постановка задачи применения комплексных сетей в индикативном анализе уровня энергетической безопасности**

В последние годы стала набирать популярность новая научная теория — теория комплексных сетей. Объектом изучения данной теории являются комплексные (сложные) сети. Таким сетям свойственны

большая численность узлов и нетривиальная топологическая структура. Подход к анализу сложных систем на основе комплексных сетей весьма эффективен во многих научных областях, например, в социологии, биологии, технике и т. д. Не является исключением и энергетика.

Для оценки уровня энергетической безопасности (ЭБ) России и ее регионов используется метод индикативного анализа. Анализ основных тенденций и оценку основных факторов состояния энергетики можно осуществлять на основе системы индикаторов, характеризующих уровень, состав и глубину угроз ЭБ. Одним из сложнейших вопросов при индикативном анализе является вопрос о выделении наиболее значимых показателей. Первоначально для оценки уровня ЭБ предлагалось использовать до 450 индикаторов [1]. В связи с тем, что для экспертов оказалось невозможным выполнять оценку уровня ЭБ с использованием большого количества индикаторов, сейчас практически рассматриваются восемь важнейших индикаторов [2].

Использование аппарата комплексных сетей может позволить описать большее количество индикаторов, описать их связи и выполнить исследования уровня ЭБ с использованием нового инструментария. Таким образом, можно сформулировать следующую задачу: разработать методику исследований и принципы построения инструментальных средств индикативного анализа ЭБ России и ее регионов на основе комплексных сетей и выполнить реализацию или адаптацию инструментальных средств. Предполагается, что разрабатываемая методика и инструментальные средства позволят усовершенствовать технологию исследований проблем ЭБ и будут способствовать оперативному принятию решений по обеспечению требуемого уровня ЭБ.

#### Список литературы

- [1] Бушуев В.В., Воропай Н.И., Мастепанов А.М., Шафраник Ю.К. Энергетическая безопасность России. — Новосибирск: Наука, 1998. — 302 с.
- [2] Пяткова Н.И., Равчук В.И., Сендеров С.М. и др. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. — 198 с.

#### 2.49. Олховикова Е.И. Анализ основных подходов к проектированию СППР

В последние годы особенно заметно обозначилась тенденция к слиянию организаций и созданию межкорпоративных связей, а так же мгновенно возрастающие объемы оперативной информации делают особо актуальной проблему разработки и внедрения систем поддержки принятия решений (СППР).

СППР берут свое начало из систем управления базами данных и информационных систем управления. Они необходимы для поддержки процесса принятия решений в сложных, слабоструктурирован-

ных ситуациях. Выделяют четыре основных направления («школы» создания СППР): анализ решений (Decision Analysis), исследование решений (Decision Research); исчисление решений (Decision Calculus); процесс внедрения (Implementation Process). Каждая школа представляет собой отдельное направление создания СППР, однако в «чистом виде» применяется редко. Школы анализа, исчисления и исследования решений реализуют подход, ориентированный на решение поставленной задачи, а школа процесса внедрения использует метод, ориентированный на процесс создания СППР. По мнению специалистов, ориентированный на решение подход в большинстве случаев лучше подходит для проектирования СППР [1].

Согласно Пауэру (D.J. Power) [2], в распоряжении разработчиков есть три альтернативных подхода к проектированию СППР.

1. Подход на основе разработки жизненного цикла системы — SDLS (Systems Development Life Cycle), использующий макетирование и прототипирование.
2. Быстрое прототипирование (Rapid Prototyping), которое предусматривает широкое применение различных технологий, в частности, СППР-генераторов.
3. Разработка конечного пользователя (End-User Development), т. е. индивидуальная разработка под запросы лиц, принимающих решения, с использованием СППР-инструментариев и СППР-генераторов.

Наиболее предпочтительным является подход SDLS. В настоящее время на основе данного подхода идет разработка различных СППР на уровне корпораций, в том числе, для крупных географически распределенных компаний.

*Научный руководитель — к.т.н. Полетайкин А.Н.*

#### Список литературы

- [1] Мазуров В.Д., Трофимова Е.А., Попов А.Л. Математическая экономика Учеб. пособие. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2006. — 166 с.
- [2] Power D.J. A Brief History of Decision Support Systems. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://DSSResources.COM/history/dsshhistory.html> (дата обращения 10.03.2007).

#### 2.50. Парыгин А.В., Вольф А.А., Зюбин В.Е., Достовалов А.В., Бабин С.А. 1D система стабилизации положения оптического волокна

Волоконная брэгговская решетка (ВБР) — широко используемый компонент волоконной оптики. Один из методов создания ВБР — фемтосекундная лазерная запись с протяжкой волокна через феррулу [1]. Так как внутренний диаметр феррулы превышает диаметр оптического волокна, в процессе протяжки волокно может смещаться. Такие смещения вли-

яют на спектральные характеристики получаемых решеток.

Данная работа посвящена реализации системы стабилизации положения волокна в ферруле путем создания обратной связи между пьезокерамическим элементом, контролирующим положение феррулы и изображением текущего положения волокна в ферруле, получаемым камерой.

Для решения этой задачи использовалась высокоскоростная камера (до 100 кадров в секунду) и пьезокерамический элемент с точностью шага в 0.025 мкм. Для устранения шумов изображения применялись два метода. Камера была настроена на вывод определенной исследуемой области изображения, что позволило увеличить экспозицию, для повышения контрастности обрабатываемого изображения. Также использовался фильтр Гаусса с последующим пороговым преобразованием, что позволило минимизировать шумы на изображении.

Анализ полученного профиля изображения двух границ сердцевин оптического волокна выполнялся по двум разработанным методикам. Точность нахождения положения границ достигалась созданной системой анализа контуров профиля изображения. Контрастность (видимость границ сердцевин волокна) контролировалась системой автоматической подстройки пороговой фильтрации.

В результате использования созданной системы контроля положения волокна удалось сократить амплитуду колебаний сердцевин оптического волокна во время записи с 2.5 мкм до 0.45 мкм, что повысило качество изготавливаемых ВБР.

Предложенный метод контроля положения волокна позволяет записать длинные ВБР с существенно лучшими спектральными характеристиками.

#### Список литературы

- [1] BABIN S.A. Femtosecond Inscription of Long-period and Fiber Bragg Gratings for Harsh Environment Sensors and High Power Lasers Applications // Asia Communications and Photonics Conference. — Hong Kong, 2015.

#### 2.51. Пестова А.С. Кластерный анализ ДНК на основе пиковой характеристики символического разнообразия

В последние 20–25 лет усилия научного сообщества были направлены на накопление секвенированных последовательностей ДНК. В настоящее время в основных молекулярно-генетических банках данных (EMBL, GenBank, DDBJ) уже накоплена огромная информация о полностью секвенированных геномах микроорганизмов и геномах эукариот, включая геном человека, причем объем расшифрованных последовательностей стремительно растет. Полученная информация обрабатывается и изучается различными математическими аппаратами, одним из которых является аппарат комбинаторики слов. Результаты на основе этого подхода получены в [1].

Пиковая характеристика символического разнообразия строки в аспекте исследования временных рядов, вычисленная на основе максимума конечной разности функции энтропии сдвигов, предложена в [2].

Данная работа посвящена применению данной оценки к изучению характеристик символического разнообразия нуклеотидного состава ДНК, определению способности геномов к рекомбинации генов.

В основе исследования лежат вычисления значений функции энтропии сдвигов для входного генома по следующей формуле:

$$F(m) = -\sum_{i=1}^{4^m} \frac{C_i}{n-m+1} \cdot \log_{4^m} \frac{C_i}{n-m+1},$$

где  $n$  — длина всей строки;  $m$  — размер текущего окна (сдвига);  $C_i$  — счетчик по всем позициям окна в исходном слове для подслова длины  $m$  с номером  $i$ . Верхний предел суммирования  $4^m$  определяется общим числом всех возможных подслов длины  $m$  в алфавите ДНК. Значение функции  $F(m)$  вычисляется последовательно, начиная с  $m = 1$  с шагом 1 до  $m = \lceil 2 \log_4 n \rceil$ , т. к. значения функции  $F(m)$  на последующих значениях  $m$  будут близки к 0, что не имеет принципиального значения для анализа символического разнообразия ДНК. Для получения пиковой характеристики символического разнообразия важен лишь резкий скачок вниз функции  $F(m)$ , который будет находиться в диапазоне от 1 до  $\lceil 2 \log_4 n \rceil$ . Полученные значения функции энтропии сдвигов в дальнейшем были использованы для определения оценок символического разнообразия исследуемых ДНК, рассматриваемых как слова в четырехсимвольном алфавите. На основе тестового исследования 20 геномов из банков данных EMBL, GenBank, DDBJ, была выявлена тенденция их объединения в отдельные группы по пиковым значениям характеристик символического разнообразия. В ходе последующего кластерного анализа в пространстве (пиковое значение конечной разности функции энтропии сдвигов, аргумент пикового значения) выяснилось, что в таком кластерном пространстве геномы объединяются по семействам биологических организмов. Развитие данных исследований предполагает как расширение осей кластерного пространства за счет применения новых характеристик символического разнообразия, так и расширение набора исследуемых геномов организмов из других семейств.

#### Список литературы

- [1] Орлов Ю.Л. Анализ регуляторных геномных последовательностей с помощью компьютерных методов оценок сложности генетических текстов. — Дис. ... канд. биол. наук. — 2004 — 180 с.
- [2] Сметанин Ю.Г., Ульянов М.В. Мера символического разнообразия: подход комбинаторики слов к определению обобщенных характеристик временных рядов // Бизнес-информатика. — 2014. — № 2(28), С. 15–21.

**2.52. Пестунов А.И., Перов А.А. Анализ статистических свойств легковесных блочных шифров с помощью специализированной программной библиотеки**

Генерация псевдослучайных чисел — это одно из распространенных применений итеративных блочных шифров, причем удовлетворительные статистические свойства выходной последовательности могут быть обеспечены значительно меньшим числом раундов ( $R_{\min}$ ), чем полное число раундов шифра ( $R$ ), призванное обеспечить криптографическую стойкость. Для экспериментальной оценки  $R_{\min}$  необходимо провести анализ статистических свойств генерируемой шифром последовательности при возрастающем числе раундов, улучшая статистические свойства. Начиная с некоторого числа раундов, генерируемая последовательность перестанет отличаться от случайной (с помощью используемого критерия), и это число раундов можно принять в качестве оценки  $R_{\min}$ .

Для проведения анализа целесообразно использовать программные коды шифров, имеющиеся в открытом доступе, однако их интеграция в собственные программы во многом затруднена из-за различных сигнатур функций шифрования и развертывания ключа у разных реализаций. Две наиболее существенные проблемы, затрудняющие автоматизированную обработку шифров, следующие: во-первых, число раундов не выносится в качестве аргумента функции и, во-вторых, блоки представляются в виде слов разной длины (например, 128-битовый блок может быть представлен как четыре 32-битовых слова или как шестнадцать 8-битовых). В настоящей статье представлена созданная на базе открытых исходных кодов шифров программная библиотека, предоставляющая единый интерфейс для обращения к шифрам и приводятся результаты статистического анализа малоресурсных алгоритмов с ее помощью (см. таблицу). Значительная часть реализаций шифров взята из библиотеки BLOS [1]. Для статистического анализа использован тест «стопка книг» [2].

Оценка минимального числа раундов ( $R_{\min}$ ), обеспечивающее удовлетворительные статистические свойства шифров;  $R$  — полное число раундов.

Шифр	$R_{\min}$	$R$	Шифр	$R_{\min}$	$R$
XTEA	3	32	Piccolo	6	25–31
SPECK	6	22–34	KLEIN	4	12–20
CLEFIA	6	18–26	mCrypton	6	12
LED	4	32–48	Noekeon	2	16
MIBS	2	32	IDEA	2	8,5
AES	4	10–14	DESXL	2	8
Lblock	9	32	Present	9	31
Twine	9	36	Hight	10	32
Sea	10	51	Skipjack	14	32
Simon	18	32–72	Katan64,	30	254
			Ktatan64		

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-01-31484-мол\_а).*

**Список литературы**

- [1] CAZORLA M., MARQUET K., MINIER M. Survey and benchmark of lightweight block ciphers for wireless sensor networks // Proc. 10th Intern. conf. on Security and Cryptography (SECRYPT-2013). — P. 543–548.
- [2] Рябко Б.Я., Пестунов А.И. «Стопка книг» как новый статистический тест для случайных чисел // Проблемы передачи информации. — 2004. — Т. 40, № 1. С. 73–78.

**2.53. Полетайкин А.Н., Никифорова А.В. Создание системы поддержки принятия управленческих решений в торговле с применением гибридных моделей**

Прогресс в области принятия управленческих решений в условиях неопределенности в значительной мере определяется уровнем внедрения в практике управления современных достижений науки и информационных технологий. Современный рынок товаров народного потребления, особенно имеющих большое социальное значение (продукты питания, одежда, медицинские препараты и др.), при рациональной его организации обеспечивает постоянное опосредствованное влияние на прогрессивное развитие рыночной экономики России. Поэтому несомненно актуальность исследований, направленных на научное обоснование и создание системы поддержки принятия решений (СППР) при продвижении социально-значимых товаров потребителю.

Целью данного исследования является повышение эффективности решений при продвижении товаров на рынок в социальном и экономическом аспекте за счет создания СППР, которая базируется на научно обоснованных математических моделях и методах. Для достижения такой двойной цели предлагается СППР, в основе которой находится гибридная модель процесса выработки управленческих решений в условиях неопределенности. Разработанная СППР при продвижении товаров потребителю структурно отличается от известных научных разработок в этой области наличием компонентов моделирования и оптимизации процесса реализации товаров на основании интегрального критерия эффективности. Входящая в структуру СППР новая имитационно-оптимизационная модель удовлетворения потребности в социально-значимых товарах базируется на трехуровневой системе базовых и второстепенных потребностей человека и позволяет выполнять нечеткое моделирование параметров процесса реализации, осуществляя тем самым эффективное управление процессом принятия решений. В совокупности это позволило формализовать процесс принятия решений при продвижении товаров на рынок и получить практический результат в виде специализированной СППР, главной отличительной особенностью которой является возмож-

ность учета человеческого фактора при взаимодействии потребителя с рынком.

Основной же научный результат работы — новая имитационно-оптимизационная модель, учитывающая социальные, экономические и психологические характеристики человека, — является универсальным и может быть применен (при условии адаптации) в других областях, где требуется комплексная оценка человеческого фактора.

*Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных и прикладных исследований СибГУТИ.*

#### **2.54. Полонская Я.С. Определение эффективности методов интеллектуального анализа данных в исследовании природных сигналов**

Исследование ионосферы является актуальной задачей для многих областей человеческой деятельности. Ее исследование позволит повысить надежность работы навигационных систем дальней радиосвязи, обеспечения полетов космических аппаратов и т. д. Не менее актуальной темой так же является и прогнозирование сейсмических толчков так как это важнейшее мероприятие в системе контроля сейсмической обстановки, позволяющее своевременно принять меры к защите населения и территорий, резко снизить затраты на ликвидацию последствий землетрясений.

Для проведения исследований были использованы две базы данных. Первая из них соответствует задаче классификации высокочастотных радарных сигналов, возвращаемых из ионосферы. База данных содержит 351 экземпляр и 34 атрибута [1]. Вторая задача состоит в прогнозировании сейсмических толчков. База данных содержит 2584 экземпляра и 19 атрибутов [2]. Задачи решались при помощи программной системы анализа данных RapidMinerStudio [3].

В качестве методов анализа данных для обоих наборов данных были выбраны следующие алгоритмы: искусственная нейронная сеть (ANN), индукция правил (RI), метод  $k$  ближайших соседей ( $k$ -NN), дерево решений (DT), наивный Байесовский классификатор (NB), случайный лес (RF), логистическая регрессия (LR) и метод опорных векторов (SVM).

Для первого набора данных лучшие результаты показали DT (92,88 %) и ANN (91,84 %). После оптимизации, которая улучшила показатели всех методов, лучший результат было получен нейронной сетью ANN (98,21 %). Применение ансамблей привело к ухудшению результатов.

Для второго набора данных лучший результат показали ANN (92,6 %) и RF (92,8 %). Оптимизация параметров также дала улучшение для всех методов, а лучший результат продемонстрировала нейронная сеть ANN (96,94 %). Ансамбли обоих типов также не привели к улучшению результатов.

Таким образом, мы наблюдаем, что в обоих случаях

из всех использованных подходов лучший результат показала оптимизированная по скорости обучения нейронная сеть. Можно сделать вывод, что задачи исследования природных процессов могут быть решены с помощью программной системы RapidMiner, что может облегчить работу многих организаций, выполняющих данные исследования.

В дальнейшем предполагается перейти от использования стандартных пакетов к применению более эффективных методов, основанных на специальных эволюционных алгоритмах [4, 5].

#### **Список литературы**

- [1] IonosphereDataSet. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Ionosphere> (Дата обращения: 05.09.2015).
- [2] Seismic-bumpsDataSet. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/seismic-bumps> (Дата обращения: 06.09.2015).
- [3] RapidMiner. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <https://rapidminer.com> (Дата обращения: 06.09.2015).
- [4] БЕЖИТСКИЙ С.С., СЕМЕНКИН Е.С., СЕМЕНКИНА О.Э. Гибридный эволюционный алгоритм для задач выбора эффективных вариантов систем управления // Автоматизация. Современные технологии. — 2005. — № 11, С. 24.
- [5] СЕМЕНКИН Е.С., СЕМЕНКИНА М.Е. Применение генетического алгоритма с модифицированным оператором равномерной рекомбинации при автоматизированном формировании интеллектуальных информационных технологий // Вест. СибГАУ. — 2007. — № 3 (16), С. 27–33.

#### **2.55. Проскуряков Д.П. Использование контекстной информации и средств рассуждения по прецедентам в стратегии управления производствами**

Использование производственной модели представления знаний в современных экспертных системах сопряжено с различными трудностями. Существующие средства верификации, нацеленные на поиск формально определенных аномалий, не гарантируют устранения возможных смысловых ошибок в результатах вывода [1]. Кроме того, несмотря на модульность, присущую производственной модели, сложность интеграции новых знаний увеличивается с ростом базы знаний [2]. Эти проблемы являются следствием того, что машина вывода и стратегия управления производствами выполняют действия над правилами механически, без учета отношений между понятиями предметной области, представленными в этих правилах [2].

Для решения этих проблем предлагается следующее. Во-первых, явно описывать контекст применения знаний средствами отдельного формализма. Во-вторых, осуществлять управление выводом на основе анализа ситуаций, возникающих в процессе вывода. В работе рассматривается применение онтологического моделирования к описанию контекстной

информации, а также применение рассуждения по прецедентам к представлению и обработке описаний ситуаций.

Применение таких средств рассуждения по прецедентам как эпизодическая память [3] и конструкционная адаптация [4] позволяет упростить интеграцию знаний, добавляемых в экспертную систему, и облегчить организацию управления выводом в постоянно увеличивающейся базе знаний.

#### Список литературы

- [1] Долинина О.Н. Классификация ошибок в базах знаний экспертных систем // Вест. СГТУ. — 2010. — № 4(50), Вып. 2, С. 125–130.
- [2] ПРОСКУРЯКОВ Д.П. Управление разрешением конфликтов в продукционных экспертных системах // Вестник ИрГТУ. — 2015. — № 8(103), С. 47–51.
- [3] KOLODNER J. Maintaining organization in a dynamic long-term memory // Cognitive Science. — 1983. — Vol. 7, P. 243–280.
- [4] PLAZA E., ARCOS J.L. Constructive adaptation / S. Craw, A. Preece eds. // Advances in Case-Based Reasoning. — Springer-Verlag, 2002. — Vol. 2416, P. 306–320.

#### 2.56. Распопов Р.В. Разработка программного инструмента «Дорога» для визуализации разнородных исторических данных

Стремление развить историческую науку до уровня «точных» наук существует издавна, и определенные успехи в этом направлении обеспечены математизацией истории, применением математических методов обработки исторических данных и компьютерных технологий [1]. Удешевление компьютерной техники и развитие программного обеспечения привело к появлению такой отрасли науки как историческая информатика [2], которая использует такие методы, как технологии создания баз и банков данных, многомерный статистический анализ (факторный и кластерный), а также такие компьютерные технологии, как оптическое распознавание, компьютерное картографирование (ГИС), мультимедиа и Интернет [3].

Задача визуализации исторических данных на сегодняшний день в большинстве случаев решается с помощью технологии «Timeline» [4], причем наиболее распространенные оффлайн- и онлайн-инструменты представляют из себя плоские карты с горизонтальной осью времени (слева-направо) и с нанесенными на эту карту историческими событиями. Альтернативный способ визуализации пока еще встречается редко, но становится все более популярным: ось времени при таком способе устремляется вглубь экрана, возникает дополнительное измерение, что позволяет удобнее разместить информацию о событиях, происходивших одновременно. Такой способ отображения рационально выделить как самостоятельную технологию визуализации и даже обозначить новым термином — «Timeway». На данный момент онлайн-инструменты, реализующие эту

технологии, имеют довольно ограниченный функционал и не позволяют реализовать создание обширных баз знаний с гибкой структурой. Скорее они позволяют создать статичную «историческую картину» по какой-то теме и затем лишь рассматривать ее, перемещаясь по шкале времени.

Данный доклад посвящен функционалу программного инструмента «Дорога», разрабатываемого автором и его коллегами, который призван преодолеть ограничения существующих программных продуктов и создать предпосылки для расширения и интенсификации исторических исследований с применением компьютерных технологий. Создаваемая программа предназначена для систематизации и хранения разнородной информации и наглядного представления ее на временной оси с возможностью связывания данной информации с файлами на жестком диске и веб-страницами в сети Интернет. Разрабатываемый программный продукт «Дорога», благодаря своей гибкости и многофункциональности, позволит исследователям собирать и хранить разнородную историческую информацию (факты, события, литературные источники и др.) с возможностью ее удобной визуализации, обработки и поиска закономерностей, взаимосвязей различных процессов.

#### Список литературы

- [1] Турчин П.В. Перспективы математизации истории — может ли история стать точной наукой? // Тр. X конф. «Круг идей: Междисциплинарные подходы в исторической информатике». — 2008. — С. 363–374.
- [2] Владимиров В.Н. Историческая информатика: пути развития // Вест. ТГПУ. Гуманитарные науки (история). — 2006. — № 1(52), С. 86–92.
- [3] Юмашева Ю.Ю. Nocturna versate manu, versate diurna... (Обзор пяти сборников трудов АИК) // Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер». — 1999. — № 24, С. 103–120.
- [4] Бельский А. Timelines, которые позволяют увидеть время // КомпьютерПресс. — 2008. — № 12.

#### 2.57. Саклаков В.М. Современные технологии обработки больших данных

На сегодняшний день в мире существует большое количество разнородных данных. При этом, с одной стороны, с каждым годом растет их количество, а с другой — издержки на их поиск и интерпретацию. Данная проблемная ситуация усиливается по возрастающей от производственного к инновационному и далее, к научному, секторам экономики. Причем издержки в каждом из этих секторов также возрастают при переходе от более низкого уровня обобщения к более высокому. Например, в инновационном секторе — от отдельного инновационного предприятия к инновационному кластеру и далее, к инновационным системам (региональным, национальным). Целью настоящей работы является анализ основных современных технологий обработки «больших данных» (Big Data).

В результате были выделены средства параллельной обработки огромных объемов данных разной степени структурированности: NoSQL, алгоритмы MapReduce, инструменты проекта Hadoop. Основными параметрами для Big Data являются: физический объем данных, скорость их прироста и обработки, а так же возможность одновременной обработки данных, различной степени структурированности. При этом, согласно теореме CAP, в результате выполнения распределенных вычислениях можно обеспечить лишь два из трех свойств: согласованность данных, их доступность и устойчивость к разделению. Рассмотрим преимущества и недостатки вышеописанных средств обработки:

1. NoSQL. Применяется для реализации хранилищ БД, до определенной степени решая проблему масштабируемости. С одной стороны данные средства обработки гарантируют завершение каждого запроса (успешное или нет), производят изменения системы с целью согласования данных (уже существующих или новых), обеспечивая конечную согласованность данных. С другой стороны именно последней приходится жертвовать проектировщикам NoSQL-систем для обеспечения доступности данных и их устойчивости к разделению. Примерами СУБД данного класса могут служить Apache Cassandra, MongoDB.
2. MapReduce. Область применения данной модели — вычисление распределенных задач в компьютерном кластере. Основным преимуществом данного подхода является производить обработку и свертку данных параллельно и независимо друг от друга на различных серверах. При этом сортировка петабайта данных может занять лишь несколько часов. Недостатком является тот факт, что данный алгоритм в своей эффективности может уступать более последовательным алгоритмам.
3. Hadoop. Область применения данного комплекса — реализация поисковых и контекстных механизмов в веб-сервисах с высокой нагрузкой. Основным преимуществом Hadoop является масштабируемость кластера по горизонтальному типу с применением общедоступного оборудования, вместо мощных и дорогостоящих серверов. Однако масштабируемость все же имеет ограничение по количеству узлов. Другим узким местом данного подхода является размер оперативной памяти на каждом узле.

В рамках последующей научной работы планируется проводить более детальный анализ технологий обработки Big Data, а так же существующих подходов к разработке гетерогенных хранилищ данных.

*Научный руководитель — к.т.н. Иванов М.А.*

## 2.58. Саламатова Т.А. О биоинспирированном подходе к решению задачи обнаружения вторжений в информационных системах

Работа посвящена совершенствованию эвристического метода обнаружения инцидентов информационной безопасности для алгоритмического обеспечения систем обнаружения вторжений (СОВ) путем применения аппарата искусственных иммунных систем (ИИС). Из существующих вычислительных моделей ИИС для построения адаптивных СОВ была выбрана теория клональной селекции [1].

Для повышения эффективности работы (формирования высокоаффинных детекторов) алгоритм клональной селекции был модифицирован путем применения внешней оптимизационной структуры, принцип которой основан на применении стратегии эволюционных алгоритмов. Получены эмпирические результаты оценки эффективности эволюционного иммунного алгоритма клональной селекции ИИС при апробации на множестве тестовых данных. Проведен сравнительный анализ эффективности с аналогами разрабатываемого эволюционного иммунного алгоритма клональной селекции [1].

Для решения задачи автоматизированного выбора и настройки эволюционного иммунного алгоритма клональной селекции было предложено применение коэволюционной стратегии [2, 3]. Получены результаты исследования настройки параметров эволюционного иммунного алгоритма клональной селекции в составе коэволюционного иммунного алгоритма клональной селекции ИИС.

По результатам проведенных исследований сформулированы выводы об эффективности применения эволюционного иммунного алгоритма клональной селекции и коэволюционной стратегии при решении задачи обнаружения преднамеренных изменений на множестве контролируемых данных.

*Научный руководитель — к.т.н Жуков В.Г.*

### Список литературы

- [1] Жуков В.Г., Саламатова Т.А. Обнаружение сетевых вторжений эволюционным иммунным алгоритмом клональной селекции // Вест. СибГАУ. — Красноярск: СибГАУ, 2014. — № 4(56), С. 41–47.
- [2] Саламатова Т.А. О применении коэволюционного подхода в задаче обнаружения инцидентов информационной безопасности // Матер. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2015». — Томск: В-Спектр, 2015. — Ч.4, С. 174–176.
- [3] Жуков В.Г., Жукова М.Н. Коэволюционный алгоритм решения нестационарных задач оптимизации // Вестник СибГАУ. — Красноярск: СибГАУ, 2006. — № 1(8), С. 27–30.

**2.59. Салтыков М.Ю., Барцев С.И., Белолипецкий П.В. Моделирование нелинейных эффектов в системе «Биосфера — климат»**

Согласно моделям климата, используемым в работе МГЭИК, зависимость средней глобальной температуры от концентрации углекислого газа в атмосфере Земли является квазилинейной. Однако, уже около пятнадцати лет в динамике глобальной температуры наблюдается так называемая пауза — прекращение роста глобальной температуры при том что увеличение концентрации углекислого газа сохраняется. Это говорит о том что лежащие в основе моделей МГЭИК предположения не во всем соответствует действительности.

Авторами данного доклада предложен альтернативный механизм объяснения феномена глобального потепления — переключение режимов «глобального термостата». Главной особенностью предложенного механизма является предположение о существенной нелинейности связи глобальной температуры с концентрацией углекислого газа и ступенчатым характером изменения глобальной температуры в ходе потепления. Было показано что наблюдавшийся в конце XX века рост средней глобальной температуры может описываться суммой осцилляции Эль-Ниньо и двумя скачкообразными приращениями температуры, которые могут быть интерпретированы как переключение режимов термостата.

**2.60. Сеидова А.С., Румянцева Е.А. Информационная система сбора и подготовки документов для проведения итоговой государственной аттестации выпускников**

Информационные системы все больше охватывают различные отрасли жизнедеятельности. Это касается также многих процессов, протекающих в современных ведущих университетах.

Одним из значимых процессов, происходящих в вузе, является процедура итоговой государственной аттестации (ИГА), включающая подготовку и защиту выпускной квалификационной работы (ВКР). При реализации данного процесса обрабатывается большое количество информации и готовится много документов. Однако информационной системы, позволяющей учитывать, хранить и обрабатывать используемую информацию, в настоящий момент в вузах (в частности в ТПУ) нет. Поэтому целью данной работы является создание информационной системы сбора и подготовки документов для проведения ИГА выпускников, позволяющей автоматизировать процесс подготовки и защиты ВКР, сделать его более быстрым и удобным. Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

1. Моделирование процесса проведения ИГА.
2. Моделирование информационной системы с использованием UML [1].
3. Разработка веб-приложения. Инструменты раз-

работки приложения — PHP [2] и MySQL [3].

4. Внедрение системы в работу кафедры.

В результате был создан прототип клиент-серверного приложения, состоящего из модуля загрузки и хранения документов, электронной подсистемы поддержки процедуры защиты ВКР, подсистемы формирования статистики и отчетов. Среди формируемых отчетов наиболее значимыми являются: «Сводный отчет о ВКР кафедры», «Оценивание ВКР», «Статистика проведения ИГА».

Результатом данной работы является веб-приложение, которое автоматизирует процесс документооборота процедуры подготовки и защиты ВКР студентов [4]. Рассматривается применение данной системы как архив выпускных работ студентов и его использование младшими курсами. Также возможно внедрение разработанной системы и в другие виды деятельности, такие как конференции, круглые столы, дебаты и др.

*Научный руководитель — Хабибуллина Н.Ю.*

**Список литературы**

- [1] ЛЕОНЕНКОВ А.В. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с использованием UML и IBM Rational Rose. Учебное пособие. — Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний Интернет-Университет информационных технологий, 2010. — 320 с.
- [2] КАРПЕНКОВ С. Концепции современного естествознания. Учебник для вузов. — М.: Академический Проект, 2000. — 639 с.
- [3] Справочное руководство по MySQL. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://www.mysql.ru/docs/man> (Дата обращения: 10.09.2015).
- [4] РУМЯНЦЕВА Е.А., СЕИДОВА А.С. Информационная система сбора и подготовки документов для проведения итоговой государственной аттестации выпускников // Матер. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2015». — Томск: В-Спектр, 2015. — Ч. 3, 316 с.

**2.61. Смирнова А.Ю. Автоматическое аннотирование с использованием лексических цепочек**

На сегодняшний день в сети Интернет содержатся миллиарды документов, и это число увеличивается с экспоненциальной скоростью. Для того чтобы справляться с этим объемом информации, человеку необходимы инструменты, обеспечивающие своевременный доступ к различным ее источникам и ее систематизацию. Так и родилась идея автоматического аннотирования и реферирования [1]. К сожалению, большинство существующих алгоритмов ориентированы на работу с англоязычными текстами и не применимы к текстам на русском языке.

В ходе данной работы были рассмотрены извлекающие методы аннотирования [2] и реализован метод, использующий лексические цепочки. Лексиче-

ские цепочки являются попыткой представления темы, которой посвящен текст или его отрывок. Они позволяют отразить семантическую близость между именными группами, с помощью чего можно определить значимость предложений, выбираемых для аннотации [3].

В результате был разработан алгоритм аннотирования, использующий в качестве критерия выбора предложения наличие упоминания элемента частотной лексической цепочки. Также введен ряд критериев для поддержания связности аннотации, основным из которых является упоминание элементов ранее обработанных цепочек наряду с введением в аннотацию новой информации. Анализ результатов работы полученной программной системы показал, что такой подход к аннотированию является эффективным, так как использует знания о мире при обработке текста. Однако узким местом является сильная связь с тезаурусом предметной области и от качества его составления.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Крючкова Е.Н.*

#### Список литературы

- [1] NENKOVA A., MCKEOWN K. Automatic Summarization // Foundations and Trends® in Information Retrieval. — 2011. — Vol. 5, N 2-3, P. 103-233.
- [2] Осминин П.Г. Современные подходы к автоматическому реферированию и аннотированию // Вест. Южно-Уральского гос. ун-та. Сер.: Лингвистика. — 2012. — №25.
- [3] Лукашевич Н.В., Добров Б.В. Автоматическое аннотирование новостных кластеров на основе тематического представления // Тр. Междунар. конф. «Диалог-2009». — 2009. — С. 299-305.

#### 2.62. Соловьев А.А. Компьютерные системы аналитических преобразований в задачах оценки надежности считывания цифровых изображений

В ходе исследований, связанных с оценкой надежности считывания случайных дискретно-точечных полей и цифровых изображений с помощью интеграторов, имеющих несколько пороговых уровней, возникла необходимость решить следующую вероятностно-комбинаторную задачу [1]: «Пусть  $n$  точек  $x_1, x_2, \dots, x_n$  случайно брошены на интервал  $(0, 1)$ , т.е. имеется  $n$  независимых испытаний случайной величины, равномерно распределенной на интервале  $(0, 1)$ . Требуется найти вероятность  $P_{n,k}(e)$  события, заключающегося в том, что внутри интервала  $(0, 1)$  не содержится ни одного подынтервала длины  $e$ , содержащего более  $k$  точек.»

Существует множество примеров, когда нахождение даже частных решений в простых по постановке задачах выливается в серьезную научную проблему, и вышеприведенная задача является хорошей иллюстрацией этому — в настоящий момент ее общее решение известно только для случая  $k = 1$  [2].

Существующие методы не позволяют получить ана-

литические выражения для  $P_{n,k}(e)$  как функцию свободных параметров  $n$  и  $k$ , поэтому для продвижения в решении задачи были разработаны «умные» специализированные системы, в основе которых лежат символьно-аналитические преобразования на ЭВМ.

С помощью разработанных программных систем были найдены и доказаны три ранее неизвестные формулы, отвечающие за вероятность безошибочного считывания случайных дискретных полей и цифровых изображений.

Одна из таких формул изначально появилась как «гипотеза-догадка» в 1981 году, а доказана только через 30 лет после появления [3].

Для нахождения двух других формул было недостаточно даже мощной программной поддержки — потребовалось ввести в научную практику понятие и найти явные выражения для обобщенных многомерных чисел Каталана [4], а также решить ряд других весьма непростых комбинаторно-вероятностных задач.

Работа является примером эффективного использования компьютера в качестве «интеллектуально-го» помощника, оснащенного самыми современными средствами для проведения интеллектуальных аналитических преобразований при решении сложных вероятностных задач.

#### Список литературы

- [1] Резник А.Л., Ефимов В.М., Соловьев А.А. Компьютерно-аналитический расчет вероятностных характеристик процесса считывания случайных точечных изображений // Автометрия. — 2011. — Т. 47, № 1, С. 10-16.
- [2] PARZEN E. Modern Probability Theory and Its Applications. — N.Y.-London: John Wiley & Sons, 1960.
- [3] Резник А.Л. Моделирование на ЭВМ непрерывного считывания изображений дискретной структуры // Автометрия. — 1981. — № 6, С. 3-6.
- [4] SOLOVIEV A., REZNIK A., TORGOV A., EFIMOV V. 3D Catalan Numbers // Euro-American Conference for Academic Disciplines. — Paris, April 8-11, 2013.

#### 2.63. Сотников И.Ю. Web-система Paralarea для электронного обучения и разработки программ в области высокопроизводительных вычислений

Задача разрабатываемой web-системы Paralarea — предоставить студентам и исследователям площадку для обучения и разработки программ в области высокопроизводительных вычислений.

Система логически подразделяется на две основные подсистемы. Первая отвечает за предоставление учебного материала, взаимодействие преподавателей и студентов, управление заданиями и лабораторными работами. Вторая подсистема отвечает за предоставление среды для разработки программ и управление удаленными вычислительными ресурсами. На данный момент, вторая подсистема предо-

ставляет доступ к вычислительным ресурсам Центра коллективного пользования высокопроизводительными вычислительными ресурсами КемГУ [1]. Система претерпевала несколько глобальных изменений. Предыдущие версии имели монолитную архитектуру, что значительно усложняло работу в команде, расширение системы и дальнейшее ее сопровождение. Было решено спроектировать и реализовать систему в соответствии с компонентной сервис-ориентированной архитектурой. Данный подход дает больше свободы выбора в средствах реализации компонентов системы и значительно упрощает интеграцию новых подсистем и сервисов.

В данной работе представлена архитектура системы Paralagea, подсистема онлайн-интегрированной среды разработки, а также сервисы для управления каталогами пользователей и удаленными вычислительными ресурсами.

*Работа выполнена в рамках задания № 2014/64 на выполнение государственной работы «Организация проведения научных исследований».*

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Григорьева И.В.*

#### Список литературы

- [1] Гудов А.М., Завозкин С.Ю., Григорьева И.В. и др. Научно-технический программный веб-инструментарий для решения задач экологии угольного региона // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Фундаментальная информатика, информационные технологии и системы управления: реалии и перспективы». — Красноярск: СФУ, 2014. — С. 109–119.

#### 2.64. Старовойтова В.А. Расширение функциональных возможностей мультимедийного сетевого электронного учебника по дисциплине «Проектный менеджмент»

Целью работы является разработка дополнительных аспектов мультимедийного сетевого электронного учебника по дисциплине «Проектный менеджмент» для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения. Кроме информационного обеспечения рабочей программы дисциплины учебник должен осуществлять мониторинг деятельности учащихся, контроль выполнения практического раздела дисциплины.

Рассмотрены и проанализированы системы электронного образования.

1. CMS (Content Management Systems) — системы управления контентом;
2. LMS (Learning Management System) — системы управления обучением;
3. LCMS (Learning Content Management Systems) — системы управления учебным контентом.

В настоящее время в ТПУ широкое применение находит система электронного обучения e-Learning на основе виртуальной обучающей среды Moodle.

Она позволяет организовать обучение в процессе совместного решения учебных задач, осуществлять обмен знаниями. Именно система дистанционного обучения Moodle стала основой разрабатываемого электронного учебника.

Учебник состоит из разделов, состоящих из тем. Каждая тема делится на лекции. Важной составляющей учебного процесса является выполнение самостоятельных работ студентов (СРС). Для удобной работы с СРС создан раздел «СРС студентов». У каждой самостоятельной работы есть свой срок выполнения, согласно учебной программы дисциплины. Преподаватель может просмотреть все ответы студентов, оценить выполненные задания и отправить на доработку, выставляя стадию готовности СРС в журнале оценок. Для этого разработана шкала оценок СРС.

Если слушатель курса не вовремя проходит теоретический материал, не в срок отправляет свои СРС, тогда во время зачетной недели (сроки устанавливает преподаватель) для студента становится доступен раздел «Мудрости». Раздел «Мудрости» составлен на подобии раздела «СРС студентов».

Критерием успешного освоения теории является постоянный контроль знаний. Для этого использован элемент курса «Тест».

В результате разработана содержательная часть теоретических разделов учебника, создана важная для учебного процесса подсистема мониторинга самостоятельной работы студентов по выполнению индивидуальных домашних заданий.

#### Список литературы

- [1] Андреев А.В., Доценко И.Б. Практика электронного обучения с использованием Moodle. — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. — 146 с.
- [2] Анисимова А.М. Работа в системе дистанционного обучения Moodle: Учебное пособие. — Харьков: Изд-во ХНАГХ, 2009. — 292 с.
- [3] Агапонов С.В., Джалиашвили З.О., Кречман Д.Л. Средства дистанционного обучения. Методика, технология, инструментарий. Серия «Мастер решений». — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 336 с.

#### 2.65. Столбов А.Б. Реализация алгоритма поддержки проектирования реактивных агентов на примере социально-экономической модели региона

В настоящее время изучение взаимодействия социальных, экологических и экономических факторов с учетом здоровья населения в контексте проблем регионального развития представляет значительный интерес. Результаты этих исследований востребованы при разработке социально-экономической политики региона на разных уровнях. Изучение взаимодействий между такими факторами осложняется междисциплинарным характером социально-экономических систем, их уникальностью, невоз-

возможность постановки активного эксперимента со всей изучаемой системой. Поэтому для исследования взаимодействия природы, экономики, социума и заболеваемости населения в рамках единой системы целесообразно использовать подход агентного имитационного моделирования.

Использование социо-экономической агентной модели позволит осуществить детализированное рассмотрение процессов в исследуемой многокомпонентной системе: анализа системы на уровне отдельных предприятий, домохозяйств, районных администраций, природоохранных служб и т.п. При реализации агентной модели учитывается опыт аналогичных разработок (например [1, 2]).

Для создания агентов предлагается использовать разрабатываемое автором программное средство поддержки проектирования агентов [3], предназначенное для создания реактивных агентов имитационной модели с помощью декларативного описания их структуры и поведения, при этом основой для построения имитационной модели является концептуальная модель предметной области.

В процессе создания агентной модели на основе концептуальной модели можно выделить следующую последовательность действий: выбор понятий предметной области, которые будут интерпретироваться как агенты; формирование структуры агента; определение поведения агента, задающее его реакции на изменение среды и состояния других агентов в виде набора продукционных правил; формирование структуры окружающей среды; определение приоритетов выполнения продукционных правил, задающих комплексное поведение агента; определение начального количества агентов каждого типа в момент запуска имитационной модели и начального состояния среды; анализ результатов моделирования и уточнение выбранной структуры и поведения агентов.

Для поддержки принятия решений согласно данной последовательности для каждого действия могут быть сформированы наборы эвристических правил, позволяющие оценить полученный к текущему моменту результат проектирования агентной модели и предложить рекомендации либо по улучшению этого результата, либо по направлению дальнейших действий. Данные эвристики разрабатываются инженером по знаниям совместно с экспертом-предметником, что позволяет в дальнейшем эксплуатировать систему поддержки проектирования реактивных агентов социо-экономической модели региона непрограммирующим пользователем.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 14-07-00222, 14-07-31298).*

#### Список литературы

[1] Бегунов Н.А. Моделирование развития муниципальных образований на основе агентного подхода. Электронный журнал //

Современные исследования социальных проблем. — 2011. — № 4 (08). Адрес доступа: <http://sisp.nkras.ru/issues/2011/4/begunov.pdf>.

- [2] Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Агент-ориентированная социо-эколого-экономическая модель региона // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2015. — № 3 (288), С. 2–11.
- [3] Павлов А.И., Столбов А.Б. Архитектура системы поддержки проектирования агентов для имитационных моделей сложных систем // Программные продукты и системы. — 2015. — № 109, С. 12–16.

#### 2.66. Тюгин Д.Ю., Куркин А.А., Кузнецов К.И. Информационная система сбора и обработки данных мобильного робототехнического комплекса мониторинга прибрежной зоны

При исследовании последствий масштабных природных катастроф, таких как цунами, очень важно собрать статистические и натурные данные непосредственно в зоне затопления. Они необходимы для изучения фундаментальных механизмов подобных явлений, построения математических моделей для предсказания возможных последствий. Тем не менее, сбор натурных данных в таких зонах всегда сопряжен с определенными трудностями (вероятность повторных землетрясений, неблагоприятные климатические условия и т.п.) Для оптимального решения подобных задач целесообразно применение мобильных робототехнических комплексов оборудованных набором датчиков дистанционного измерения [1]. Один из таких комплексов разрабатывается в НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Он состоит из мобильной платформы, измерительного оборудования и информационной системы сбора и обработки данных. Измерительное оборудование включает радиолокационную станцию для дистанционного измерения волнения водной поверхности, навигационное оборудование, лазерные сканирующие датчики, метеостанцию для измерения погодных характеристик.

Информационная система состоит из набора программных модулей. Модуль загрузки данных реализует подключение к интерфейсам оборудования, считывает входящие пакеты данных, осуществляет их разбор и записывает полученные данные в базу данных и файлы. Модуль геопривязки служит для определения текущих координат точки измерения. Модуль анализа осуществляет предварительную обработку входящих пакетов посредством алгоритмов динамической обработки экспериментальных данных (спектральный анализ, вейвлет-анализ). Модуль мониторинга состояния системы предоставляет информацию о ресурсах бортового вычислительного устройства. Модуль управления измерительным оборудованием служит для настройки конфигурации (задания скорости и разрешения сканирующих устройств и т.д.). В настоящее время ведется

доработка платформы, планируется проведение лабораторных и натурных испытаний.

*Представленные результаты получены при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам на 2015–2017 годы (СП-193.2015.5).*

#### Список литературы

- [1] WUBBOLD F., HENTSCHE M., VOUSDOKAS M., WAGNER B. Application of an autonomous robot for the collection of nearshore topographic and hydrodynamic measurement // Coastal engineering. — 2012. — Vol. 33, P. 271–282.

#### 2.67. Тюрюмин В.О. Интеграция событийного моделирования и байесовских сетей доверия в исследованиях проблем энергетической безопасности

Исследования проблем энергетической безопасности (ЭБ) являются частью комплексных исследований систем энергетики и подразумевают проведение анализа причин реализации, вариантов протекания и способов ликвидации угроз ЭБ — условий и факторов, создающих экстремальные ситуации в системах энергетики. Для выполнения этих задач в лаборатории Информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН ранее было предложено использовать событийный (на основе Joiner-сетей — Л.Н. Столяров) и вероятностный (на основе байесовских сетей доверия — БСД) подходы к моделированию угроз ЭБ в рамках их качественного анализа [1].

При формировании списка событий в событийной модели может возникнуть проблема недостатка информации о вероятности наступления тех или иных событий и состоянии объектов, связанных с ними. В свою очередь, байесовские сети доверия позволяют оценить совокупный эффект влияния переменных модели друг на друга, но не подходят для моделирования процессов. Автором рассматриваются возможности совместного использования упомянутых подходов с выработкой рекомендаций по их применению для решения задач диагностического и прогностического характера в системах энергетики. Так, событийные модели дополняются вероятностной информацией и экспертными оценками состояния описываемых в моделях объектов. Для поддержки интеграции разработанных ранее инструментальных средств событийного и БСД-моделирования автором предлагается использовать специальную программу — редактор Joiner-сетей, которая могла бы предоставить широкие возможности для задания процедур, связанных с некоторым элементом Joiner-сети.

Представляется, что совместное использование событийного и вероятностного моделирования приведет к повышению эффективности этапа качественного анализа угроз ЭБ и выявлению наиболее правдоподобных сценариев развития событий в системе.

*Работа выполняется при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 13-07-140, 14-07-116, 14-07-31268 и 15-07-01284).*

*Научный руководитель — д.т.н. Массель Л.В.*

#### Список литературы

- [1] МАССЕЛЬ А.Г., ПЯТКОВА Е.В. Интеллектуальные информационные технологии для исследовательских проблем энергетической безопасности // Тр. Всерос. семинара с междунар. участием «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики»: Вып. 64. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы. — Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. — С. 472–483.

#### 2.68. Уваров Д.А. Система автоматического распознавания дорожных знаков

Целью данной работы является распознавание дорожных знаков с видео-регистратора. Для распознавания видео-поток разбивается по кадрам и на каждом из них ищутся искомые объекты. Для распознавания дорожных знаков на изображении происходит обучение классификатор на тестовой выборке. В качестве выборки используются как фотографии разного качества знаков дорожного движения, так и идеально нарисованные изображения. В рамках исследования были проведены численные эксперименты с использованием методов [1].

1. Использование классификатора Bag of words. Данный метод позволяет определять наличие знаков на изображении и результат работы практически не зависит от положения объекта на изображении. Однако он плохо локализует знаки на изображении.
2. Локализация знаков с помощью метода Виолы — Джонса [2]. Данный метод для распознавания использует признаки Хаара. Это позволяет быстро находить интересные точки, но показывает слабую эффективность в распознавании и локализации знаков дорожного движения на изображении. Это происходит из-за того, что данный алгоритм был разработан в целях распознавания лиц и учитывает множественные перепады контрастности, которые на изображениях дорожных знаков отсутствуют.
3. Использование нелинейного классификатора SVM с использованием HOG-дескрипторов [3]. Минусом данного метода является значительное влияние обучающей выборки и параметров на результат. Так же алгоритм обучения имеет высокую вычислительную сложность, что негативно сказывается на времени работы. Однако тщательный подбор параметров и обучающей выборки позволил добиться высоких результатов классификатора.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Крючкова Е.Н.*

### Список литературы

- [1] OpenCV: Miscellaneous image transformation. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://docs.opencv.org> (Дата обращения 24.09.2015).
- [2] Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — Москва: Техносфера, 2005. —1072 с.
- [3] CRISTIANINI N., SHAWE-TAYLOR J. An Introduction to Support Vector Machines and other kernel-based learning methods. — Cambridge Univ. Press, 2000.

### 2.69. Угриновский Н.В. Веб-приложение «Бизнес-симулятор»

Предлагаемое приложение — инструмент для решения множества задач реального бизнеса в области обучения, развития персонала, маркетинга и стратегического управления. Симуляция вводит начинающих предпринимателей в основы торгово-предпринимательской деятельности, моделируя основные процессы, протекающие в большинстве отраслей бизнеса без потерь личных финансов. А именно: ведение упрощенного бухгалтерского учета с элементами автоматизации, виртуальными банковскими счетами, системами штрафов, премий и кредитами; автоматизированное управление заказами и их учет при помощи системы штрих-кодов. Участвовать может неограниченное количество заявленных пользователей, как в локальной сети, так и в сети Internet.

Серверная часть приложения написана на языке программирования PHP без использования готовых фреймворков, клиентская часть на JavaScript. Каркас приложения реализует парадигму MVC, что позволяет четко разделять роли между участниками. В качестве СУБД используется MySQL.

Бизнес-симулятор дает возможность от имени администратора:

- управлять данными заводов, заказчиков и поставщиков, представляющих собой виртуальные субъектные единицы в бизнес-симуляторе и имеющие собственные уникальные учетные записи;
- управлять списками заказов, деталей, штрафов, поощрений и расходов, которые являются объектами в бизнес-симуляторе;
- просматривать транзакции, как в общей таблице команд, так и в детализированной таблице выбранной команды.

В роли поставщика:

- продавать детали для выполнения заказа и имеющих возможность просматривать историю осуществленных поставок командам.

В роли заказчика:

- выдавать заказы командам, начислять штрафы или поощрения и просматривать историю исполнения того или иного заказа.

В роли финансового директора, выступающего от имени определенного завода:

— просматривать историю транзакций своей команды, запрашивать виртуальные кредиты и выплачивать их, а также регулировать квалификацию сотрудников завода.

Данная программа была специально разработана с целью максимальной детализации моделирования основных бизнес процессов.

Симулятор апробирован на III Всероссийском молодежном бизнес-форуме «Слет успешных предпринимателей» в 2015 году в Тюменской области, в котором участвовали 400 человек. Было заявлено 12 команд. В результате тестирования приложения были выделены команды участников, показавшие лучшие результаты, тем самым укрепившие свои предпринимательские навыки. У завода, лучше всех справившегося с работой, выручка составила 7 000 000 рублей, что на 350 % превысило расходы.

### 2.70. Федотов А.М., Самбетбаева М.А. Алгоритм морфологического анализатора для казахского языка

В данной работе рассматриваются модели и существующие алгоритмы нормализации слов естественных языков. Описаны алгоритмы автоматического выделения основ для ряда естественных языков и возможные пути синтеза нормальной формы слова для казахского языка.

Необходимость приведения слов к нормальной форме (построения морфологического анализатора) возникла при работе с информационно-поисковыми тезаурусами с учетом морфологии казахского языка в полнотекстовых базах данных по информационным технологиям. Приведение слов в анализируемом тексте к нормальной форме сильно упрощает работу с ним: индексацию, последующий поиск информации по построенному индексу, а также решение задач классификации (кластеризации) и автоматического реферирования документов научно-технической тематики [1].

Выбор решения. В данной работе рассмотрен два наиболее популярных алгоритма лемматизации, основывающиеся на различных принципах — это алгоритм Портера [2] и алгоритм Яндекса [3]. Исходя из анализа существующих решений были выработаны модель и правила алгоритма получения нормальной формы слова для казахского языка, соединяющая по описаниям приведенные выше алгоритмы.

Морфологическая модель казахского языка. В казахском языке словоформы образуются путем конкатенации корня и аффиксов (суффиксов и окончаний). В казахском языке окончания делятся на четыре вида окончаний. Описанные внизу окончания непосредственно будут использоваться в разрабатываемом алгоритме определения основы слова.

Обозначим через  $P_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$  следующие множества окончаний (аффиксов):  $P_1$  — множество трехбуквенных окончаний (окончание множественного числа);  $P_2$  — множество окончаний (притяжатель-

ные окончания);  $P_3$  — множество окончаний (личные окончания);  $P_4$  — множество окончаний (падежные окончания).

Для удобства реализации были исследованы систематизация окончаний и порядок правил.

Пусть  $Q$  — произвольный одноместный предикат, а  $W$  — множество нормальной формы слова.

Каждое слово  $z$  представим в виде  $z = y \wedge x$  как конкатенация двух (или более) слов  $y$  и  $x$ .

Если слово  $x \in P_i$ , то обозначим как  $P_i(x)$  для всех  $i = 1, \dots, 4$ .

Если слово  $x \in W$ , то обозначим как  $W(x)$ .

Если слово  $x \in Q$ , то обозначим как  $Q(x)$ .

Исследованы существующие алгоритмы выделения основ и приведение в нормальную форму слов для казахского языка. Разработан алгоритм для морфологического анализатора казахского языка и создан прототип системы нормализации, подтверждающий работоспособность данного алгоритма. Отличительными особенностями построенного алгоритма является его понятность и достаточно легкая воспроизводимость, что позволяет, в частности, без особых трудозатрат применить его в семантических поисковых системах.

#### Список литературы

- [1] Шокин Ю.И., Федотов А.М., Барахнин В.Б. Проблемы поиска информации. — Новосибирск: Наука, 2010. — 196 с.
- [2] PORTER M.F. An algorithm for suffix stripping // Program. — 1980. — Vol. 14, N 3, P. 130–137
- [3] SEGALOVICH I.V. A fast morphological algorithm with unknown word guessing induced by a dictionary for a web search engine. [Электронный ресурс]. — 2003. Адрес доступа: <http://download.yandex.ru/company/iseg-las-vegas.pdf> (Дата обращения: 06.10.2015).

#### 2.71. Хашипер А.Л., Хашипер Б.Л., Лунд Ю.Б., Галеев С.Р., Кабирова А.Р. Информационно-аналитическая система прогнозирования осложнений в бурении

Бурение нефтегазовых скважин является основополагающим процессом в цепочке мероприятий по добыче углеводородов. В процессе бурения возникают разного рода осложнения, т. е. технологические ситуации, нарушающие его нормальный ход (поглощения бурового раствора, проявления пластовых флюидов, нарушения целостности стенок скважины и т. п.). По данным статистики строительства скважин, более 20 % календарного времени бурения затрачивается на борьбу с осложнениями. Несвоевременное предупреждение и проведение мероприятий по ликвидации одних осложнений влечет другие, а иногда приводит к авариям и необходимости ликвидации скважины. Поэтому важной и актуальной задачей становится своевременное проведение мероприятий по предупреждению осложнений.

Предупредить возможные осложнения можно путем их прогнозирования еще на этапе проектирования новой скважины. Решение данной задачи состоит в автоматизированном анализе данных по ранее пробуренным скважинам с использованием компьютерного моделирования. В литературе описаны методики прогнозирования осложнений в бурении, однако имеющиеся на данный момент программные продукты требуют большой перечень параметров и данных, которые необходимы при анализе. Так, для реализации традиционно используемых регрессионных уравнений и вероятностных моделей требуется знание градиентов давлений в скважине, параметров бурового раствора и характеристик спуско-подъемных операций, а также множество других показателей, которые не всегда возможно получить на этапе проектирования строительства скважины.

Доклад посвящен информационно-аналитической системе (ИАС), позволяющей осуществлять выдачу рекомендаций по предупреждению осложнений путем обоснованного подбора буровых растворов для бурения опасных интервалов на основе анализа данных по ранее пробуренным скважинам. ИАС состоит из базы данных по осложнениям и модуля прогнозирования осложнений.

Для реализации ИАС используется реляционная модель базы данных (БД). БД содержит информацию по скважинам месторождения: в ней хранятся данные по скважине (с привязкой к корпоративному реестру скважин), параметры разреза (глубина кровли и подошвы, стратиграфические отбивки, параметры бурового раствора и т. д.), данные по осложнениям (интервал, интенсивность и т. д.), а также сведения о ликвидации указанных осложнений (количество и вид мероприятий, расход реагентов и т. д.). Разработан web-интерфейс БД, позволяющий обеспечить эффективное хранение, редактирование данных и использование их для анализа. Прогнозирование осложнений предлагается осуществлять на основе использования искусственных нейронных сетей — одного из наиболее широко распространенных и эффективных инструментов искусственного интеллекта. Нейронные сети обладают способностью предсказания ситуаций с неизвестным видом связей между входными и выходными параметрами, благодаря чему являются оптимальным инструментом для построения прогноза на основе минимума информации по ранее пробуренным скважинам. Тестирование разработанных алгоритмов для уже пробуренных скважин нескольких месторождений Республики Башкортостан (РБ) показало хорошее совпадение прогнозных значений с фактическими данными (результаты совпадают в 78 % случаев). В настоящее время проводится апробация разработанного ПО при создании проектной документации на строительство скважин на месторождениях РБ.

**2.72. Чемидов И.В., Казанцев М.А., Капулин Д.В. Интеграция систем складского учета и комплектации с системой планирования и диспетчеризации производства**

Для предприятий радиоэлектронной промышленности характерно применение широкого спектра материалов, покупных комплектующих изделий (ПКИ), деталей и сборочных единиц (ДСЕ) и инструмента, далее по тексту артикулов. Без этих компонентов невозможно эффективное производство, что делает актуальной задачу складского учета и своевременного принятия решений о закупке материалов и запуске изготовления деталей.

На АО «НПП «Радиосвязь» были разработана, внедрена и эффективно применяется автоматизированная система управления производством в состав которой входит: управления складом; управление закупками; планирования и диспетчерирования производства, и т. д.

Система управления складом обеспечивает учет движения артикулов — приход и автоматическое списание на основании состава заказа. Система планирования и диспетчерирования производства определяет порядок и сроки запуска позиций в производство с учетом очередности выпуска изделий и предоставляет инженерно-техническому персоналу информацию о состоянии изделий, сроках сдачи и остаточной трудоемкости по цехам в реальном времени.

Наиболее эффективно предприятие может работать только в случае глубокой интеграции автоматизированных систем управления предприятием. В ходе разработки были реализованы следующие аспекты связи двух систем:

- сборочными цехами из системы производственных планов формируются заявки на комплектацию сборок, которые отображаются работникам центрального комплектовочного цеха;
- комплектовщицы осуществляют проверку наличия артикулов — без нужного количества на складе деталь или сборочный узел не комплектуется в производство;
- при закупке ПКИ выполняется анализ дефицита позиций.

**2.73. Шишов Б.А., Изюмов Б.Д. Разработка системы отслеживания эмоционального состояния диспетчера в реальном времени**

Целью данной работы является разработка системы оценки и отслеживания изменений эмоционального состояния диспетчера.

Проведен анализ диспетчерской деятельности в эргатической системе и определены основные типы задач. Проведенный анализ показал необходимость учета психологических характеристик диспетчеров. На основе предложенной модели [1] разработан экс-

перимент, целью которого является постепенный ввод испытуемого в состояние напряжения. Испытуемому предлагается игра, в ходе которой его уровень стресса монотонно растёт.

Разработана система на основе аппаратно-программной платформы Microsoft Kinect для отслеживания в реальном времени, записи и анализа показателей эмоционального состояния в ходе эксперимента. Система позволяет отслеживать изменение лицевых параметров на основе системы FACS [2], изменение положения тела и частоты сердцебиения.

Определение эмоционального состояния производится в системе на основе данных полученных в реальном времени с сенсора и индивидуальных характеристик испытуемого, полученных в ходе эксперимента.

Проведенные исследования с использованием разработанной системы позволили оценить индивидуальное эмоциональное состояние диспетчера. Было исследовано изменение уровня стресса более 20 испытуемых.

Несмотря на трудности в описании универсальной зависимости лицевых параметров и уровня стресса, разработан эффективный подход к анализу индивидуальных особенностей психического состояния.

*Научный руководитель — д.т.н., проф. Григорьев Л.И.*

**Список литературы**

- [1] Зигель А., Вольф Дж. Модели группового поведения в системе Человек — Машина. — М.: Мир, 1973.
- [2] EKMAN P., FRIESEN W. Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement. — Palo Alto: Consulting Psychologists Press, 1978.

**2.74. Шумилин О.П., Вичугова А.А. Основы информационной безопасности в веб-программировании. Современные методы и средства защиты от SQL-инъекций.**

SQL-инъекция является одним из самых распространенных методов взлома программ и сайтов, работающих с базами данных. Это атака на базу данных, которая позволяет выполнять какие-либо действия, которые ранее не планировались создателем скрипта. SQL-атака становится возможной из-за некорректной обработки входных данных, используемых в запросах. Данная уязвимость является одной из самых распространенных и наиболее опасной в вопросе безопасности. SQL-инъекции считаются опасными, потому что они предоставляют данные для хакеров через веб-интерфейс. После удачного проведения атаки, злоумышленник распорядится вашей информацией как посчитает нужным: получит пароли от учетных записей, удалит таблицы из базы данных или внесет в них изменения. SQL-инъекции это чисто программная ошиб-

ка, и не имеет ничего общего с хост-провайдером. За безопасность базы данных полностью отвечает разработчик [1].

Современные программные платформы разработки, предлагающие набор методов и средств реализации программного обеспечения и называемые фреймворки, содержат инструменты защиты от SQL-инъекций. Например, Laravel, выбранный для реализации проектируемой системы «Мобильный горожанин». Также популярными средствами этой категории являются ZendFramework, Lumen, Symfony, Yii2 и многие другие. В настоящее время использование фреймворков считается хорошим стилем программирования и становится стандартом де-факто [2]. Поэтому очень важно следить за новинками рынка программного обеспечения и выбирать соответствующие инструменты разработки для эффективной и качественной реализации поставленных задач.

#### **Список литературы**

- [1] PHP: SQL-инъекции — Manual. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://php.net/manual/ru/security.database.sql-injection.php> (Дата обращения: 21.09.2015).
- [2] Приход новой эры PHP-фреймворков. [Электронный ресурс]. — Адрес доступа: <http://bloggerator.ru/page/prihod-novoj-ery-php-frejmvorokov> (Дата обращения: 21.09.2015).

## Алфавитный указатель

### **Абрамов Тимофей Владимирович**

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),  
Россия*

AbramovTV@ipgg.sbras.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 20

### **Агбаш Игорь Андреевич**

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),  
Россия*

agbashia@ipgg.sbras.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 20

### **Алипова Диляра**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*

dil.alipova@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 16, 20

### **Андреева Ксения Николаевна**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*

Ksenia\_and@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 21

### **Ахмедова Саяра Юнисовна**

*Акционерное общество «Ракетно-космический  
центр «Прогресс» (Самара), Россия*

sayara3958@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 21

### **Ахпашев Руслан Владимирович**

*Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики  
(Новосибирск), Россия*

fzybotsogood@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 60

### **Бабин Сергей Алексеевич**

*Институт автоматики и электрометрии  
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 19, 84

### **Бакиева Айгерим Муратовна**

*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия*

m\_aigerim0707@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 60

### **Балакирев Никита Александрович**

*Казанский национальный исследовательский  
технологический университет (Казань), Россия*

balakirevnikita2009@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 22

### **Барановский Николай Викторович**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 12, 17, 21

### **Барцев Сергей Игоревич**

*Институт биофизики СО РАН  
(Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 90

### **Батуев Станислав Павлович**

*Томский государственный  
архитектурно-строительный университет  
(Томск), Россия*

spbaturev@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 16, 22

### **Беднякова Анастасия Евгеньевна**

*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия*

anastasia.bednyakova@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 15, 53

### **Бекежанова Виктория Бахытовна**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

bekezhanova@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 23

### **Беликова Марина Юрьевна**

*Горно-Алтайский государственный университет  
(Горно-Алтайск), Россия*

BelikovaMY@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 14, 61

### **Белоглазов Игорь Юрьевич**

*Самарский государственный технический  
университет (Самара), Россия*

rozsuoly@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 24

### **Белолипецкий Павел Викторович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 90

### **Белорусов Артем Игоревич**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

artemb@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 61

### **Белоусов Кирилл Ильич**

*Санкт-Петербургский государственный  
университет информационных технологий,  
механики и оптики (Санкт-Петербург), Россия*

belousov\_k.i@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 8, 24

**Березин Антон Александрович**

*Институт математики и механики УрО РАН,  
Уральский федеральный университет им. первого  
Президента России Б.Н. Ельцина  
(Екатеринбург), Россия*

berezinant@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 11, 62

**Блохин Александр Михайлович**

*Институт математики им. С.Л. Соболева  
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 27, 50

**Боброва Маргарита Владимировна**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*

bobrova.r@inbox.ru

Программа/тезисы: стр. 19, 62

**Бодякин Евгений Владимирович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

buravil@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 63

**Борзенко Евгений Иванович**

*Томский государственный университет  
(Томск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 7, 32

**Бояркина Кира Евгеньевна**

*Томский государственный университет  
(Томск), Россия*

kiraworkst@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 7, 25

**Букатин Антон Сергеевич**

*Санкт-Петербургский национальный  
исследовательский Академический университет  
РАН (Санкт-Петербург), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 24

**Бурмистров Александр Васильевич**

*Институт вычислительной математики  
и математической геофизики СО РАН,  
Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 17, 38

**Быков Артём Александрович**

*Институт космических и информационных  
технологий Сибирского федерального  
университета (Красноярск), Россия*

oxumoron13@hotmail.com

Программа/тезисы: стр. 8, 39

**Вакула Игорь Александрович**

*Институт математики и механики УрО РАН  
(Екатеринбург), Россия*

igor.vakula@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 11, 62

**Васильева Екатерина Евгеньевна**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*

katya-vas@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 63

**Ващенко Павел Владимирович**

*Институт автоматики и электрометрии  
СО РАН (Новосибирск), Россия*

vaschenko@vmk.ru

Программа/тезисы: стр. 14, 64

**Винников Евгений Владимирович**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 39

**Витова Татьяна Брониславовна**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

vitova@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 25

**Вичугова Анна Александровна**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 10, 97

**Вольф Алексей Анатольевич**

*Институт автоматики и электрометрии  
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 19, 84

**Воронцов Никита Сергеевич**

*Новосибирский государственный технический  
университет (Новосибирск), Россия*

noobsenslaver@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 64

**Вшивкова Ольга Антоновна**

*Красноярский научный центр СО РАН  
(Красноярск), Россия*

oavshivkova@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 26

**Вяткин Александр Владимирович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

vyatkin@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 7, 13, 26, 35

**Гаврилюк Анатолий Петрович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия  
glyukonat@icm.krasn.ru  
Программа/тезисы: стр. 16, 36*

**Гадылышина Ксения Александровна**

*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 7*

**Галеев Сергей Рустемович**

*ООО «БашНИПИнефть» (Уфа), Россия  
Программа/тезисы: стр. 96*

**Гальперов Василий**

*Институт систем энергетики  
им. Л.А. Мелентьева СО РАН (Иркутск), Россия  
galperov@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 13, 65*

**Герасимов Валерий Сергеевич**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 16, 33*

**Гергет Ольга Михайловна**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 18, 65*

**Гермидер Оксана Владимировна**

*Северный (Арктический) федеральный  
университет (Архангельск), Россия  
o.germider@narfu.ru  
Программа/тезисы: стр. 27*

**Гиниятуллина Ольга Леоновна**

*Кемеровский филиал Института  
вычислительных технологий СО РАН  
(Кемерово), Россия  
skiporol@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 18, 66*

**Голдин Андрей Юрьевич**

*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия  
goldinandrey@list.ru  
Программа/тезисы: стр. 9, 27*

**Головин Сергей Валерьевич**

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева  
СО РАН (Новосибирск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 7*

**Голубева Юлия Андреевна**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия  
golubeva.yulia.a@ya.ru  
Программа/тезисы: стр. 14, 67*

**Гончарова Ольга Николаевна**

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
СО РАН (Новосибирск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 12, 23*

**Гончарова Ольга Николаевна**

*Алтайский государственный университет  
(Барнаул), Россия  
Программа/тезисы: стр. 9, 27*

**Горбачев Ярослав Вадимович**

*Сибирский федеральный университет,  
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН  
(Красноярск), Россия  
gorbachev\_yaroslav\_91@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 15, 28*

**Горохов Александр Андреевич**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия  
Alexandr\_1991@inbox.ru  
Программа/тезисы: стр. 16, 28*

**Горохова Екатерина Сергеевна**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия  
gorokhovaes@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 11, 67*

**Горский Сергей Алексеевич**

*Институт динамики систем и теории управления  
СО РАН (Иркутск), Россия  
gorsky@icc.ru  
Программа/тезисы: стр. 14, 68*

**Григорьев Александр Евгеньевич**

*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия  
alexmersermain@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 8, 29*

**Гусев Олег Игоревич**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия  
gusev\_oleg\_igor@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 8, 29*

**Девярых Дмитрий Владимирович**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия  
ddv.edu@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 18, 65*

**Дементьева Екатерина Васильевна**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия  
lionesskate@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 7, 30*

**Денисов Иван Андреевич**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*  
d.ivan.krsk@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 13, 30

**Денисова Анна Сергеевна**

*Балтийский федеральный университет  
им. И. Канта (Калининград), Россия*  
annadenisova312@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 68

**Деревцов Евгений Юрьевич**

*Институт математики им. С.Л. Соболева  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
dert@math.nsc.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 31

**Диденко А. О.**

*Специальное конструкторско-технологическое  
бюро «Наука» КНЦ СО РАН  
(Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 18, 74

**Добролюбова Дарья**

*Новосибирский государственный технический  
университет (Новосибирск), Россия*  
dobrolyubovad@ngs.ru

Программа/тезисы: стр. 31

**Долгая Анна Андреевна**

*Институт вулканологии и сейсмологии  
(Петропавловск-Камчатский), Россия*  
adolgaya@kscnet.ru

Программа/тезисы: стр. 31

**Дородных Никита Олегович**

*Институт динамики систем и теории управления  
СО РАН (Иркутск), Россия*  
tualatin32@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 69

**Достовалов Александр Владимирович**

*Институт автоматики и электрометрии  
СО РАН (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 19, 84

**Дресвянский Денис Владиславович**

*Сибирский государственный аэрокосмический  
университет им. М.Ф. Решетнева  
(Красноярск), Россия*  
Escodenis@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 69

**Дундукова Катерина Вадимовна**

*Новосибирский государственный технический  
университет (Новосибирск), Россия*  
katedundukova@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 32

**Дьякова Ольга Алексеевна**

*Томский государственный университет  
(Томск), Россия*  
olga.dyakova.1992@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 7, 32

**Дядькин Юрий Алексеевич**

*Институт динамики систем и теории управления  
СО РАН (Иркутск), Россия*  
dyadkinu@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 14, 70

**Евстрапов Анатолий Александрович**

*Институт аналитического приборостроения РАН  
(Санкт-Петербург), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 24

**Евсюков Александр Анатольевич**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
alev14@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 70

**Евсюткин Иван Викторович**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 18, 63

**Егоров Юрий Алексеевич**

*Тюменский государственный университет  
(Тюмень), Россия*  
yuriyueg@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 11, 71

**Еримбетова Айгерим Сембековна**

*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия*  
aigerian@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 71

**Ершов Александр Евгеньевич**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
alexander.erшов@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 33

**Есипенко Сергей Павлович**

*Алтайский государственный технический  
университет (Барнаул), Россия*  
yesipenko\_serгей@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 72

**Есипов Денис Викторович**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
esipov@ict.sbras.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 33, 40

**Ефимов Александр Владимирович**

*Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики  
(Новосибирск), Россия*  
alexandr.v.efimov@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 34

**Ефимова Любовь Валерьевна**

*Институт систем информатики  
им. А.П. Ершова СО РАН (Новосибирск), Россия*  
efimova\_l@ngs.ru  
Программа/тезисы: стр. 11, 71

**Ефимова Марина Викторовна**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
efmavi@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 7, 34

**Ефремов Александр Александрович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
aedampir@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 13, 35

**Жигарев Владимир Алексеевич**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*  
zhigarev.vladimir@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 7, 22, 35

**Жилов Руслан Альбердович**

*Институт прикладной математики и  
автоматизации (Нальчик), Россия*  
kavkaze@inbox.ru  
Программа/тезисы: стр. 72

**Жучков Дмитрий Викторович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
dimkas@icm.krasn.ru  
Программа/тезисы: стр. 19, 73

**Зимин Антон Игоревич**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
sliii@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 8, 36

**Зотеев Владимир Евгеньевич**

*Самарский государственный технический  
университет (Самара), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 21

**Зуев Алексей Валерьевич**

*Поволжский Государственный университет  
телекоммуникаций и информатики  
(Самара), Россия*  
zoomer499@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 73

**Зюбин Владимир Евгеньевич**

*Институт автоматизации и электрометрии  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 19, 84

**Изюмов Борис Дмитриевич**

*Российский государственный университет нефти  
и газа имени И.М. Губкина (Москва), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 19, 97

**Исаев Иван Леонидович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
1@crownet.ru  
Программа/тезисы: стр. 16, 36

**Кабанов Алексей Анатольевич**

*Специальное конструкторско-технологическое  
бюро «Наука» КНЦ СО РАН (Красноярск), Россия*  
weller86@inbox.ru  
Программа/тезисы: стр. 18, 74

**Кабирова Айгуль Ринатовна**

*Башкирский государственный университет  
(Уфа), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 96

**Казаков Илья Вадимович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
kazakov.ilya.krsk@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 9, 37

**Казанцев М. А.**

*АО «Научно-производственное предприятие  
«Радиосвязь» (Дивногорск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 11, 97

**Каменев Олег Тимурович**

*Институт автоматизации и процессов управления  
ДВО РАН (Владивосток), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 76

**Капулин Денис Владимирович**

*АО «Научно-производственное предприятие  
«Радиосвязь» (Дивногорск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 11, 97

**Карасева Татьяна Сергеевна**

*Сибирский государственный аэрокосмический  
университет им. М.Ф. Решетнева  
(Красноярск), Россия*  
tatyana.karasewa@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 11, 75

**Кареева Евгения Дмитриевна**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 7, 13, 30, 35

**Кихтенко Владимир Андреевич**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*

kva911@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 18, 75

**Ковтуненко Павел Викторович**

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева  
СО РАН (Новосибирск), Россия*

pkovtunenکو@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 8, 37

**Козлова Софья Владимировна**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

sonique@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 37

**Колчинский Владислав Андреевич**

*Институт автоматизации и процессов управления  
ДВО РАН (Владивосток), Россия*

vladko.88@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 76

**Кондратьев Дмитрий Александрович**

*Институт систем информатики  
им. А.П. Ершова СО РАН (Новосибирск), Россия*

apple-66@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 11, 76

**Кононов Дмитрий Дмитриевич**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

ddk@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 10, 76

**Коробко Алексей Александрович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

agok@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 77

**Коробко Анна Владимировна**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

lynx@icm.krasn.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 77

**Коротченко Мария Андреевна**

*Институт вычислительной математики  
и математической геофизики СО РАН  
(Новосибирск), Россия*

kmaria@osmf.ssc.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 38

**Коршунов Сергей Андреевич**

*Институт динамики систем и теории управления  
СО РАН (Иркутск), Россия*

grey.for@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 9, 10, 69, 78

**Костелей Яна Валерьевна**

*Томский государственный университет систем  
управления и радиоэлектроники (Томск), Россия*

yaninabaler@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 78

**Костин Константин Владимирович**

*Алтайский государственный технический  
университет (Барнаул), Россия*

konstantinkostin28@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 79

**Костромин Роман Олегович**

*Институт динамики систем и теории управления  
СО РАН (Иркутск), Россия*

romang70055@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 10, 79

**Кочегурова Елена Алексеевна**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 11, 67

**Красовицкая Кристина Андреевна**

*Иркутский национальный исследовательский  
технический университет (Иркутск), Россия*

kristina.kras1993@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 19, 80

**Кречетова Светлана Юрьевна**

*Горно-Алтайский государственный университет  
(Горно-Алтайск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 14, 61

**Кривдюк Наталья Михайловна**

*Томский государственный университет систем  
управления и радиоэлектроники (Томск), Россия*

skratnat@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 9, 80

**Кругляков Алексей**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 39

**Крючкова Елена Николаевна**

*Алтайский государственный технический  
университет (Барнаул), Россия*

Программа/тезисы: стр. 72

**Кудря Надежда Олеговна**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 8, 9, 38, 39

**Кудрявцев Илья Владимирович**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*

kudrilya@rambler.ru

Программа/тезисы: стр. 15, 39

**Кузнецов Константин Игоревич**

*Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева  
(Нижний Новгород), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 93

**Кулясов Никита**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
razor@icm.krasn.ru  
Программа/тезисы: стр. 10, 81

**Курако Михаил Александрович**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*  
mkurako@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 8, 9, 38, 39

**Куранakov Дмитрий Сергеевич**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
kuranakov@ict.sbras.ru  
Программа/тезисы: стр. 16, 40

**Куркин Андрей Александрович**

*Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева  
(Нижний Новгород), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 93

**Кутищева Анастасия Юрьевна**

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А.А. Трофимука СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
Kutischeva.Anastasia@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 40

**Кухтевич Игорь Владимирович**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 8, 24

**Лабусов Владимир Александрович**

*Институт автоматизации и метрологии  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 14, 64

**Лапин Василий Николаевич**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 16, 40

**Ларичкин Алексей Юрьевич**

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 17, 52

**Лебедев Денис Владимирович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 9, 49

**Лигай Светлана**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 14, 67

**Линд Юлия Борисовна**

*ООО «БашНИПИнефть» (Уфа), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 96

**Лиханова Юлия Викторовна**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
yulia.likhanova@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 16, 41

**Лихачев Алексей Валерьевич**

*Новосибирский государственный технический  
университет (Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 64

**Лызов Евгений Романович**

*Новосибирский государственный технический  
университет (Новосибирск), Россия*  
lyzov.e.r@ya.ru  
Программа/тезисы: стр. 16, 41

**Люлин Юрий Вячеславович**

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
ilya.shefer@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 9, 27

**Магденко Евгений**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
magdenko\_evgeniy@icm.krasn.ru  
Программа/тезисы: стр. 9, 42

**Мальцева Светлана Васильевна**

*Институт математики им. С.Л. Соболева  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
sv\_maltseva@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 12, 31, 47

**Мамойленко Сергей Николаевич**

*Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики  
(Новосибирск), Россия*  
msn@sibguti.ru  
Программа/тезисы: стр. 34

**Мамонтов Данила Юрьевич**

*Сибирский государственный аэрокосмический  
университет им. М.Ф. Решетнева  
(Красноярск), Россия*  
mamontov.bs@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 11, 75

**Марков Павел Владимирович**

*Тюменский государственный университет  
(Тюмень), Россия*  
markov.pv@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 42

**Марков Сергей Игоревич**

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А.А. Трофимука СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
www.sim91@list.ru

Программа/тезисы: стр. 43

**Марьин Сергей Владимирович**

*Санкт-Петербургский государственный  
университет информационных технологий,  
механики и оптики (Санкт-Петербург), Россия*  
sergey.maryin@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 10, 81

**Масловская Анна Геннадьевна**

*Амурский государственный университет  
(Благовещенск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 46

**Массаулина Мстислава Алексеевна**

*Самарский государственный технический  
университет (Самара), Россия*  
stiva25@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 43

**Массель Людмила Васильевна**

*Институт систем энергетики  
им. Л.А. Мелентьева СО РАН (Иркутск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 83

**Мацулев Александр Николаевич**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 9, 37

**Мельников Павел Владимирович**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
pvm96@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 18, 82

**Микушина Валентина Алексеевна**

*Томский государственный университет  
(Томск), Россия*  
mikushina\_93@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 16, 43

**Минаков Андрей Викторович**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 7, 35, 49

**Митрофанов Сергей Александрович**

*Сибирский государственный аэрокосмический  
университет им. М.Ф. Решетнева  
(Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 18, 69

**Михайлов Андрей Анатольевич**

*Институт динамики систем и теории управления  
СО РАН (Иркутск), Россия*  
mikhailov@icc.ru

Программа/тезисы: стр. 82

**Михайлов Сергей Олегович**

*Кемеровский государственный университет  
(Кемерово), Россия*  
mihailov@kemsu.ru

Программа/тезисы: стр. 9, 44

**Михалев Антон**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*  
spaminng1@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 17, 48

**Михнёв Михаил Михайлович**

*АО «Информационные спутниковые системы»  
им. М.Ф. Решетнева» (Железногорск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 15, 39

**Мялков Владислав Владимирович**

*Алтайский государственный технический  
университет (Барнаул), Россия*  
gatereverser@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 83

**Нгуен Лиен Гуй**

*Иркутский национальный исследовательский  
технический университет (Иркутск), Россия*  
nguyenhuyliem225@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 13, 44

**Неверова Галина Петровна**

*Институт комплексного анализа региональных  
проблем РАН (Биробиджан), Россия*

Программа/тезисы: стр. 17, 26

**Нестеренко Сергей Владимирович**

*Институт математики Сибирского федерального  
университета (Красноярск), Россия*  
nestersv8@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 8, 45

**Никифорова Анжела Владимировна**

*Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики  
(Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 86

**Новиков Антон Евгеньевич**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*  
aenovikov@bk.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 45

**Новиков Евгений Александрович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 13, 49

**Носырева Елена Владимировна**

*Иркутский национальный исследовательский  
технический университет (Иркутск), Россия*  
nev-7@list.ru

Программа/тезисы: стр. 83

**Ольховикова Екатерина Игоревна**

*Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики  
(Новосибирск), Россия*  
ekatesib@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 84

**Павельчук Анна Владимировна**

*Амурский государственный университет  
(Благовещенск), Россия*  
AP.9.04@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 46

**Паровик Роман Иванович**

*Институт космических исследований  
и распространения радиоволн ДВО РАН  
(Петропавловск-Камчатский), Россия*  
romano84@mail.ru

Программа/тезисы: стр. 46

**Парыгин Александр Викторович**

*Институт автоматики и электрометрии  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
nibir2@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 19, 84

**Перельгин Антон Александрович**

*Алтайский государственный университет  
(Барнаул), Россия*

Программа/тезисы: стр. 14, 61

**Перов Артём Андреевич**

*Новосибирский государственный университет  
экономики и управления (Новосибирск), Россия*

Программа/тезисы: стр. 10, 86

**Перышкова Евгения Николаевна**

*Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики  
(Новосибирск), Россия*  
e.peryshkova@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 34

**Пестова Анастасия Сергеевна**

*Высшая Школа Экономики (Москва), Россия*  
as.pestova@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 19, 85

**Пестунов Андрей Игоревич**

*Новосибирский государственный университет  
экономики и управления (Новосибирск), Россия*  
pestunov@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 10, 86

**Пестунов Игорь Алесеевич**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
pestunov@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 18, 82

**Петров Михаил Юрьевич**

*Дальневосточный федеральный университет  
(Владивосток), Россия*

Программа/тезисы: стр. 76

**Подберёзный Андрей Александрович**

*Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики  
(Новосибирск), Россия*  
andreal@inbox.ru

Программа/тезисы: стр. 34

**Полетайкин Алексей Николаевич**

*Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики  
(Новосибирск), Россия*  
alex.poletaykin@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 86

**Полешкин Сергей Олегович**

*Институт теоретической и прикладной механики  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
poleshkin@itam.nsc.ru

Программа/тезисы: стр. 13, 47

**Полонская Яна Сергеевна**

*Сибирский государственный аэрокосмический  
университет им. М.Ф. Решетнева  
(Красноярск), Россия*  
yan4ig@yandex.ru

Программа/тезисы: стр. 87

**Полякова Анна Петровна**

*Институт математики им. С.Л. Соболева  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
anna.polyakova@ngs.ru

Программа/тезисы: стр. 12, 47

**Проскураков Дмитрий Павлович**

*Иркутский национальный исследовательский  
технический университет (Иркутск), Россия*  
dpprosk@gmail.com

Программа/тезисы: стр. 10, 87

**Распопов Роман Владимирович**

*Тюменский государственный нефтегазовый университет (Тюмень), Россия*  
romanraspopov@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 88

**Рассказов Илья Леонидович**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 16, 33

**Рикун Юлия Александровна**

*Томский государственный университет (Томск), Россия*  
yulirik.93@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 16, 48

**Рубан Анатолий Иванович**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*  
rouban@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 17, 48

**Рубенчик Александр Маркович**

*Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (Ливермор), США*  
Программа/тезисы: стр. 15, 56

**Румянцева Екатерина Андреевна**

*Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 11, 90

**Рыбков Михаил Викторович**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*  
mikhailrybkov@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 13, 49

**Рыжков Илья Игоревич**

*Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск), Россия*  
rii@icm.krasn.ru  
Программа/тезисы: стр. 9, 12, 49

**Рылов Сергей Александрович**

*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия*  
RylovS@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 18, 82

**Саклаков Василий Михайлович**

*Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
romanov\_ky@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 17, 88

**Саламатова Татьяна Андреевна**

*Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева (Красноярск), Россия*  
shiracom@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 10, 89

**Салтыков Михаил Юрьевич**

*Институт биофизики СО РАН (Красноярск), Россия*  
saltykoff.mixail@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 90

**Самбетбаева Мадина Аралбаевна**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
Madina\_jgtu@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 11, 95

**Светов Иван Евгеньевич**

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Новосибирск), Россия*  
svetovie@math.nsc.ru  
Программа/тезисы: стр. 12, 31, 47

**Сеидова Айсель Султан кызы**

*Томский политехнический университет (Томск), Россия*  
aysel4421@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 11, 90

**Семенко Роман Евгеньевич**

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия*  
rsem86@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 8, 50

**Сиглетос Стилианос**

*Астонский университет (Бирмингем), Великобритания*  
Программа/тезисы: стр. 15, 50

**Сидельников Олег Сергеевич**

*Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия*  
o.s.sidelnikov@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 15, 50

**Сидоренко Павел Витальевич**

*Государственная служба по надзору и контролю в сфере образования Кемеровской области (Кемерово), Россия*  
singston@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 18, 66

**Сильченко Петр Никифорович**

*Сибирский федеральный университет (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 15, 39

**Симонов Константин Васильевич**  
*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 15

**Симунин Михаил Максимович**  
*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 9, 49

**Синявский Юрий Николаевич**  
*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
yurikmail@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 18, 82

**Смирнов Дмитрий Дмитриевич**  
*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия*  
smirnovdd@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 17, 51

**Смирнова Алина Юрьевна**  
*Алтайский государственный технический  
университет (Барнаул), Россия*  
alinasmirnova915@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 90

**Смолехо Ирина Владимировна**  
*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
irina\_smolekho@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 13, 51

**Соболев Андрей Юрьевич**  
*Институт нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А.А. Трофимука СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 16, 20

**Соловьев Александр Анатольевич**  
*Институт автоматизации и электрометрии  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
solowey@rambler.ru  
Программа/тезисы: стр. 18, 91

**Сотников Игорь Юрьевич**  
*Кемеровский государственный университет  
(Кемерово), Россия*  
mxtfonlife@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 91

**Старовойтова Владислава Андреевна**  
*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*  
vladastar93@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 10, 92

**Степанов Дмитрий Юрьевич**  
*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*  
sdu@am.tpu.ru  
Программа/тезисы: стр. 16, 57

**Степанова Ирина Владимировна**  
*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
stepiv@icm.krasn.ru  
Программа/тезисы: стр. 12, 52

**Столбов Александр Борисович**  
*Институт динамики систем и теории управления  
СО РАН (Иркутск), Россия*  
stolboff@icc.ru  
Программа/тезисы: стр. 18, 92

**Стрельников Роман Вячеславович**  
*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева  
СО РАН (Новосибирск), Россия*  
strelnikovrv@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 17, 52

**Султанов Мурат Абдукадырович**  
*Международный казахско-турецкий университет  
им. Х.А. Ясави (Туркестан), Казахстан*  
murat.sultanov@iktu.kz  
Программа/тезисы: стр. 12, 31

**Трубачева Ольга Сергеевна**  
*Новосибирский государственный технический  
университет (Новосибирск), Россия*  
olga\_\_porova@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 53

**Турицын Сергей Константинович**  
*Институт фотонных технологий Астона  
(Бирмингем), Великобритания*  
Программа/тезисы: стр. 15, 50, 56

**Тюгин Дмитрий Юрьевич**  
*Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева  
(Нижний Новгород), Россия*  
dtyugin@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 93

**Тюрюмин Вадим Олегович**  
*Институт систем энергетики  
им. Л.А. Мелентьева СО РАН (Иркутск), Россия*  
vadim.tyuryumin@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 11, 94

**Уваров Дмитрий Андреевич**  
*Алтайский государственный технический  
университет (Барнаул), Россия*  
udiman2048@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 94

**Угриновский Назарий Васильевич**

*Тюменский государственный университет  
(Тюмень), Россия  
nazar9505@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 10, 95*

**Ульянов Михаил Васильевич**

*Институт проблем управления РАН,  
Московский государственный университет  
(Москва), Россия  
Программа/тезисы: стр. 15*

**Федорук Михаил Петрович**

*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 15, 50, 53, 56*

**Федотенко Тимофей Михайлович**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия  
Tim\_fedotenko@ngs.ru  
Программа/тезисы: стр. 15, 53*

**Федотов Анатолий Михайлович**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 11, 95*

**Феррейра Фелипе**

*Астонский университет (Бирмингем),  
Великобритания  
Программа/тезисы: стр. 15, 50*

**Филина Мария Петровна**

*Томский государственный университет  
(Томск), Россия  
filina.mari@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 8, 54*

**Финкельштейн Евгения Александровна**

*Институт динамики систем и теории управления  
СО РАН (Иркутск), Россия  
finkel@icc.ru  
Программа/тезисы: стр. 12, 54*

**Фионов Андрей Николаевич**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 7*

**Фрисман Ефим Яковлевич**

*Институт комплексного анализа региональных  
проблем РАН (Биробиджан), Россия  
Программа/тезисы: стр. 17, 26*

**Хакимзянов Гаяз Салимович**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 15*

**Харлампенков Иван Евгеньевич**

*Кемеровский филиал Института  
вычислительных технологий СО РАН  
(Кемерово), Россия  
ivan87kharlampenkov@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 18, 66*

**Хартов Станислав Викторович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 9, 49*

**Хашпер Анна Леонидовна**

*ООО «БашНИПИнефть» (Уфа), Россия  
bella\_anna\_tw@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 96*

**Хашпер Белла Леонидовна**

*ООО «БашНИПИнефть» (Уфа), Россия  
Программа/тезисы: стр. 96*

**Хе Александр Канчерович**

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева  
СО РАН (Новосибирск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 7*

**Хегай Ефим Игоревич**

*Томский государственный университет  
(Томск), Россия  
efim41362@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 7, 55*

**Чемидов Игорь Владимирович**

*АО «Научно-производственное предприятие  
«Радиосвязь» (Дивногорск), Россия  
chemidov91@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 11, 97*

**Ченцов Евгений Петрович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия  
headhuntershadow@yandex.ru  
Программа/тезисы: стр. 17, 55*

**Черкашина Юлия Андреевна**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия  
cherr999y@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 56*

**Черный Сергей Григорьевич**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 16, 40*

**Черняк Екатерина Алексеевна**

*Амурский государственный университет  
(Благовещенск), Россия  
Программа/тезисы: стр. 46*

**Чеховской Игорь Сергеевич**

*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия*  
i.s.chekhovskoy@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 15, 56

**Чирков Денис Владимирович**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 12

**Шайдуров Владимир Викторович**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 19

**Шеломенцев Артемий Андреевич**

*Сибирский федеральный университет  
(Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 8, 39

**Шестаков Валерий Владимирович**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*  
valeriy.shestakov@inbox.ru  
Программа/тезисы: стр. 16, 57

**Шефер Илья Александрович**

*Институт математики и фундаментальной  
информатики Сибирского федерального центра  
(Красноярск), Россия*  
ilya.shefer@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 9, 12, 23, 27

**Шиверский Алексей Валерьевич**

*Институт вычислительного моделирования  
СО РАН (Красноярск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 9, 49

**Шишов Борис Александрович**

*Российский государственный университет нефти  
и газа имени И.М. Губкина (Москва), Россия*  
borisshishov@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 19, 97

**Штука Виктор Игоревич**

*Институт автоматизации и процессов управления  
ДВО РАН (Владивосток), Россия*  
onslice@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 57

**Штырина Ольга Владимировна**

*Новосибирский государственный университет  
(Новосибирск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 15, 56

**Шумилин Олег Петрович**

*Томский политехнический университет  
(Томск), Россия*  
oleg\_shumilin@mail.ru  
Программа/тезисы: стр. 10, 97

**Щербаков Павел Константинович**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
1doffys@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 8, 58

**Эбель Андрей Александрович**

*Южно-Уральский государственный университет  
(Челябинск), Россия*  
ebelaa@susu.ac.ru  
Программа/тезисы: стр. 58

**Юрин Александр Юрьевич**

*Институт динамики систем и теории управления  
СО РАН (Иркутск), Россия*  
Программа/тезисы: стр. 10, 69

**Юшко Олеся Викторовна**

*Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Новосибирск), Россия*  
olesya.yushko@gmail.com  
Программа/тезисы: стр. 15, 59

**О снятии ответственности**

Вся информация об участниках конференции представлена в соответствии с данными системы «Конференция». Данные об участниках конференции в системе «Конференция» вводятся пользователем, подающим заявку на участие, самостоятельно. Ответственности за достоверность этих данных организаторы конференции и администраторы системы «Конференция» не несут.

**Материалы XVI Всероссийской конференции молодых ученых  
по математическому моделированию.** Красноярск, Россия. 28-30 октября 2015 г.

**Ответственные за выпуск:**

Есипов Д.В., Лиханова Ю.В., Васева И.А.

**Операторы электронной верстки:**

Лиханова Ю.В., Васева И.А., Синявский Ю.Н., Карнаков П.В., Куранаков Д.С., Березкова Е.А.,  
Алипова Д.

---

Подписано к печати 16.10.2015.

Формат 60x84 1/8. Тираж 110 экз. Заказ №272

Отпечатано в типографии «Технотрэйд». 630015, г. Новосибирск, ул. Королева, д. 29